

Mazda Technical Review



マツダ技報

Mazda Technical Review

2003 No. **21**

マツダ技報 第21号 (2003)

目 次

巻頭言

夢追人	羽山信宏	1
-----------	------------	---

特集：ロータリエンジン

1. ロータリエンジンの構造と歴史	神原伸司, 藤本順章, 船本準一 布施 卓, 檜山謙二	3
2. RX-8搭載の新開発RENESIS	木ノ下浩, 野口直幸, 山田 薫 中村光男, 藤平伸次, 横尾健志	11
3. サイド排気ポート方式ロータリエンジンの概要	田島誠司, 清水律治, 小藤秀明 海老野弘, 岡崎俊基, 植木信也	18
4. ロータリ・フィーリング / 「走りの楽しみ」	山下 修, 渡辺洋史, 今西秀樹 大槻 健, 西村一明	24
5. 新開発RENESISのエミッション低減技術	徳田祥治, 清水 良, 丹羽 靖 世良 久, 森本政博, 重津雅彦	29
6. RENESIS生産ラインの紹介	金徳祐二, 増田雅彦, 藤崎周二 有見幸夫, 椎野和幸	34

特集：RX-8

7. RX-8の紹介	片淵 昇, 土井 歩	38
8. RX-8のデザイン	前田育男	43
9. RX-8のパッケージング	任田 功, 中村幸雄	49
10. RX-8のダイナミクス	小宮勝行, 景山文雄 来島光利, 清水勝矢	56
11. フリースタイルドアの技術的要点	守山幸宏, 伊藤 敦, 石井文雄 二関 隆	63
12. RX-8のクラフトマンシップ (内装質感)	中崎浩二, 高原順司, 山地一平 嶋田正人, 岡田健治	70
13. RX-8の衝突安全性能	横山英樹, 梶村勇一 神本一朗, 竹下弘明, 胡木 隆 田中祐充, 平田基晴	76
14. RX-8のドライブトレイン	松ヶ迫隆, 梅岡光夫, 松原伸幸 沢崎朝生, 柏木慶司, 浦道雅邦 佐々木和夫, 藤原卓治	81
15. アルミ材新接合技術の開発	村上土嘉, 山下浩二郎, 妹尾安郎 橋 昭男	86

特集：新型デミオ

16. 新型デミオの紹介	藤原清志, 平嶋秀一	92
17. 新型デミオのデザイン	中牟田泰	98
18. 新型デミオのパッケージング	伊藤 晃, 中崎浩二, 梅木哲哉 古藤政幸, 岩本良幸, 池田利文	103
19. 新型デミオのダイナミクス	友貞賢二, 高尾 亨, 小林 茂 今田隆夫	112

20. ホワイトキャンバストップの開発	畠中 威, 高松敬二	117
21. 新型デミオの衝突安全性能	柴崎宏武, 曾我部洋 大塚正志, 菊池荘吉	121
22. 新型 MZR 1.3/1.5 エンジンの開発	宮腰勝信, 中本敏秋, 須藤康博 相賀正一, 出口博明	126
23. IAFEM (Integrated Air Fuel Electrical Modules) の開発	松浦浩治, 高橋博志, 横倉恒利 西田智宣, 山田秀樹, 江角圭太郎	132
24. MZR 1.3/1.5 シリンダブロック加工ラインの紹介	鳥居 元, 山下貢丸, 平井泰史 山田義弘	138
論文・解説		
25. コンパティビリティ性能の車両構造解析	福島正信, 藤井真司, 安部晶子 尾川 茂, 藤田英治, 砂川孝之 田中由起子	146
26. 歩行者頭部保護性能の開発	古本有洋, 平田頼光 畠中 威, 胡木 隆	153
27. “ Performance Feel ” (走り感) 育成	黒田真也, 渡辺洋史, 中浦大樹 福原千絵, 佐々木和夫	158
28. 4 輪 2 軸加振機の導入と乗心地開発への適用	水島裕文, 森田俊樹, 兼品直和	164
29. マイクロ波帯EMC設備の紹介	上垣内良三, 波津久哲士, 網本 ^徳 茂 八塚誠司, 宮原勝三, 清水昌則	170
30. スポーツATステアリング シフト スイッチの開発	吉河和彦, 大坪善徳, 國廣真吾 古川浩二, 松岡信宏, 菅野裕二	174
31. 設計者向けCFDシステム (PT-ECS) の開発	横畑英明, 本郷 均, 植木義治 堀川浩司, 三村光生, 中谷修二 石原卓哉, 前田茂樹	180
32. 冷却性能予測手法の開発	長野直樹, 池田大志, 平松繁喜 高松俊二, 本郷 均	186
33. タンブル流および逆スキッシュ流によるノッキング改善	田端道彦, 藤本昌彦, 岩井浩平	192
34. 操作性向上のための上肢可操作性予測手法の開発	山田直樹, 米澤泰延, 三浦泰彦 正守一郎, 川口克也, 中村誠之	199
35. 環境にやさしい新塗装技術の開発	重永 勉, 山根貴和, 神田輝夫 亀迫裕介, 小笠原敏文, 掛 正喜	205
36. 内装用樹脂材料の「タッチ感」向上技術	田中 力, 梶川浩子, 大西正明	211
37. HCによるディーゼル排出NOx選択還元反応の速度モデルによる解析	原田浩一郎, 上岡敏嗣	217
38. モジュール部品搭載装置の開発	木村訓司, 沖中幸浩	224
39. プレス品の形状凍結技術の開発	小川貴久, 中田匡浩	229
40. テーラードブランクへのプラズマ溶接の適用	大西 渉, 猪 一郎, 山口英毅 丸石宏昭, 網清一郎	233
社外への発表論文一覧表		239

CONTENTS

Foreword	
Dream & Challenge (<i>N.Hayama</i>)	1
Special Edition for Rotary Engine	
1 . Construction and History of Rotary Engine (<i>S.Kanbara, Y.Fujimoto, J.Funamoto, S.Fuse, K.Kashiyama</i>)	3
2 . New Rotary Engine “RENESIS” Mounted on RX-8 (<i>H.Kinoshita, N.Noguchi, K.Yamada, M.Nakamura, S.Fujihira, T.Yokoo</i>)	11
3 . Side Exhaust Port Rotary Engine (<i>S.Tashima, R.Shimizu, H.Koto, H.Ebino, S.Okazaki, S.Ueki</i>)	18
4 . Rotary Feeling / “Fun to Drive” (<i>O.Yamashita, Y.Watanabe, H.Imanishi, K.Ohtsuki, K.Nishimura</i>)	24
5 . Emissions Reduction Technology in Newly Developed RENESIS (<i>S.Tokuda, R.Shimizu, Y.Niwa, H.Sera, M.Morimoto, M.Shigetsu</i>)	29
6 . RENESIS Production Line (<i>Y.Kanetoku, M.Masuda, S.Fujisaki, Y.Arimi, K.Shiino</i>)	34
Special Edition for RX-8	
7 . Introduction of RX-8 (<i>N.Katabuchi, A.Doii</i>)	38
8 . Design of RX-8 (<i>I.Maeda</i>)	43
9 . Package of RX-8 (<i>I.Tohda, Y.Nakamura</i>)	49
10 . Dynamics of RX-8 (<i>K.Komiyama, F.Kageyama, M.Kijima, K.Shimizu</i>)	56
11 . Technical Aspects of Freestyle Door System (<i>Y.Moriyama, A.Itou, F.Ishii, T.Niseki</i>)	63
12 . Craftsmanship in RX-8 (Interior Quality Feel) (<i>K.Nakasaka, J.Takahara, I.Yamachi, M.Shimada, K.Okada</i>)	70
13 . Passive Safety of RX-8 (<i>H.Yokoyama, Y.Sugimura, I.Kamimoto, H.Takeshita, T.Ebisugi, M.Tanaka, M.Hirata</i>).....	76
14 . Drivetrain of RX-8 (<i>T.Matsugasako, M.Umeoka, N.Matsubara, T. Sawazaki, K.Kashiwagi, M.Uramichi, K.Sasaki, T. Fujiwara</i>) ...	81
15 . Development of New Welding Technology for Aluminum (<i>K.Murakami, K.Yamashita, Y.Senoo, A.Tachibana</i>)	86
Special Edition for New DEMIO	
16 . Introduction of New DEMIO (<i>K.Fujiwara, H.Hirashima</i>)	92
17 . Design of New DEMIO (<i>Y.Nakamura</i>)	98
18 . Package of New DEMIO (<i>A.Ito, K.Nakasaka, T.Umeki, M.Koto, Y.Iwamoto, T.Ikeda</i>)	103
19 . Dynamics of New DEMIO (<i>K.Tomosada, T.Takao, S.Kobayashi, T.Imada</i>)	112

20 . Development of White Canvas Top (<i>T.Hatakenaka, K.Takamatsu</i>).....	117
21 . Passive Safety of New DEMIO / Mazda 2 (<i>H.Shibasaki, H.Sogabe, M.Ohtsuka, S.Kikuchi</i>)	121
22 . Development of New MZR 1.3/1.5 Engine (<i>K.Miyagoshi, T.Nakamoto, Y.Sudou, S.Aiga, H.Deguchi</i>).....	126
23 . Development of IAFEM (Integrated Air Fuel Electrical Modules) (<i>K.Matsuura, H.Takahashi, T.Yokokura, T.Nishida, H.Yamada, K.Ezumi</i>)	132
24 . MZR 1.3/1.5 Cylinder Block Machining Line (<i>H.Torii, T.Yamashita, Y.Hirai, Y.Yamada</i>)	138
Technical Reports	
25 . Vehicle Structure Analysis of Compatibility Performance (<i>M.Fukushima, S.Fujii, A.Abe, S.Ogawa, H.Fujita, T.Sunakawa, Y.Tanaka</i>)	146
26 . Development of Pedestrian Head Protection Technology (<i>A.Furumoto, Y.Hirata, T.Hatakenaka, T.Ebisugi</i>)	153
27 . Nurturing of “ Performance Feel ” (<i>M.Kuroda, Y.Watanabe, H.Nakaura, C.Fukuhara, K.Sasaki</i>)	158
28 . Introduction of Bi-axial 4-Poster and Application to Ride Development (<i>H.Mizushima, T.Morita, N.Kaneshina</i>)	164
29 . Introduction of EMC Equipment for Microwave Band (<i>R.Kamigauchi, T.Hazuku, N.Amimoto, S.Yatsuka, K.Miyahara, M.Shimizu</i>).....	170
30 . Development of Sporty Automatic Transmission Steering Shift Switch (<i>K.Yoshikawa, Y.Otsubo, S.Kunihiro, K.Furukawa, N.Matsuoka, Y.Sugano</i>)	174
31 . Development of “PT-ECS” : CFD Analysis System for Design Engineers (<i>H.Yokohata, H.Hongou, Y.Ueki, K.Horikawa, M.Mimura, S.Nakatani, T.Ishihara, S.Maeda</i>)	180
32 . Development of Prediction Method for Cooling Performance (<i>N.Nagano, D.Ikeda, S.Hiramatsu, S.Takamatsu, H.Hongou</i>)	186
33 . Knocking Improvement by Tumble Flow and Reverse Squish Flow (<i>M.Tabata, M.Fujimoto, K.Iwai</i>)	192
34 . Development of Arm Manipulability Forecast Technique for Ease of Operation (<i>N.Yamada, H.Yonezawa, Y.Miura, I.Masamori, K.Kawaguchi, S.Nakamura</i>)	199
35 . Development of Eco-friendly New Coating Technology (<i>T.Shigenaga, T.Yamane, T.Kanda, Y.Kamesako, T.Ogasahara, M.Keke</i>)	205
36 . Technology for Improving “Touch Feel” of Interior Plastic Material (<i>C.Tanaka, H.Kajikawa, M.Onishi</i>)	211
37 . Kinetic Modeling Analysis of Selective Reduction Reaction for NOx in Diesel Exhaust by HC (<i>K.Harada, T.Ueoka</i>)	217
38 . Development of Module Installation Equipment (<i>K.Kimura, Y.Okinaka</i>)	224
39 . Development of Shape-fixing Technology for Stamping Parts (<i>T.Ogawa, M.Nakata</i>)	229
40 . Application of the Plasma Welding to the Tailore-Welded Blanks (<i>W.Ohnishi, I.Ino, H.Yamaguchi, H.Maruishi, S.Tsuna</i>)	233
List of reports published in 2002	239

巻頭言

夢 追 人

Dream & Challenge



執行役員 羽 山 信 宏

Nobuhiro Hayama

「成せばなる，成さねばならぬ何事も，成さぬは人の思わざるなり。」

物事の結果は全て何らかの行為によって生ずるものであるが，その行動は人の思いの強さで大いに異なり，従って結果もその思いで大いに左右されると思う。

21世紀が明けてはや3年，21世紀をどんな世紀にするのか，その為に自動車に関わる我々技術者は何を思うべきか，課題は多々あろうが，少なくとも皆が共通に思っているのは，地球規模で環境に配慮した社会を構築するという課題であろう。

又，その答えがお客様の満足を得る技術・商品となり得る事も技術者は十分認識していると思う。

マツダは「マツダ地球環境憲章」を基本理念に，開発設計からリサイクルまでの全ての領域で独自技術を確立する取り組みに挑戦し続けている。

過去を振り返ってみると，1964年に総アルミ合金の白いエンジンを搭載したファミリアの販売，また当時，世界で最も厳しい排ガス規制と言われたマスキー法に適合する為の技術開発。マツダは，排ガスを再反応させる熱反応器（サーマルリアクター）方式の開発に取り組み，世界各国の自動車メーカーがマスキー法基準の早期達成は困難だと表明する中，合衆国政府主催の公聴会において，マツダのロータリエンジンはマスキー法基準に合格することが可能であると答申した。1973年にファミリアロータリクーペに搭載しアメリカ合衆国への輸出を開始した。

近年では，レシプロエンジンや駆動系に関してもその技術力を認められ，フォード社への供給を実現してきた。

一方マツダは数年前に，コーポレートビジョン・ブランド戦略・プロダクトフィロソフィを鮮明に打ち出し，全企業活動のベクトルを一本化している。

このマツダの新たな意志を具現化した新型MPV，アテンザ，新型デミオにおいて，お客様の共感を得るといふ成果が現れてきている。

今春，マツダのブランドアイコンとして重要な意味を持つRX-8を投入した。

搭載するRENESISエンジンは，マツダ技術者の飽くなき挑戦魂を受け継いだ若い技術者達が，21世紀のロー

タリエンジンを目指し日夜挑戦し続けてきた成果である。

1961年、当時の松田恒次社長のロータリエンジン開発の決断。山本健一、当時部長をリーダーとした四十七士の「寝ても覚めても」の合言葉での難課題の克服。1991年、第59回ル・マン24時間レースでの優勝。

この研究開発を支えた技術者の飽くなき挑戦、その時々々の難課題に挑戦し、「夢」を実現しようとする「レスピリット」。このようなスピリットはロータリエンジンのみではなく、勿論、レシプロエンジンや駆動系開発の中にも脈々と生き続けているのである。

自動車を取り巻く環境は時代とともに、排ガス対応、出力競争、燃費競争、環境対応……と変化を繰り返してきた。その度に燃焼技術、熱管理技術、排ガス処理技術、制御技術などが目覚しく進歩してきた。あわせて開発をサポートする技術革新も著しく、バーチャル開発も進んでいる。

世界経済停滞の中で、地球規模で環境を考えた社会を構築するという大きな課題に取り組み、そして低価格、高品質という顧客ニーズに応える為には、エンジン技術、サポート技術という有効な武器を駆使し、使いこなせるスキルが大切であることは言うまでもないが、それ以上に大切な事があると思う。

それは自然の輪廻という大きな流れの中に、自然態で存在することのできる自動車を創り出すという強い信念・夢を持ち、それを追いつけるエネルギーである。

技術者は皆この“心”、“志”を持っていると思う。自分達の子孫に美しいままの地球を残すという「夢」の為に微力ながらも貢献したいものである。

特集：ロータリエンジン

1

ロータリエンジンの構造と歴史 Construction and History of Rotary Engine

神原 伸 司*¹ 藤本 順 章*² 船本 準 一
Shinji Kanbara Yoriaki Fujimoto Junichi Funamoto
布施 卓*³ 榎山 謙 二*⁴
Suguru Fuse Kenji Kashiyama

要 約

マツダ独自の技術であるロータリエンジンは、これまで40年に渡り開発が進められてきた。その基本構造はシンプルであるがゆえに小型軽量であり、それでいて高出力を発揮する。全回転域でのフラットなトルク、吸排気バルブが存在しないゆえの振動・騒音の少なさ、高回転・高負荷運転での信頼性・耐久性の高さなどレシプロエンジンに対する多くのアドバンテージがあり、過去に積み上げられたモータースポーツでの数々の栄光がそれを証明している。ロータリエンジンの開発は、他に例がない独自技術であるがゆえに、あくなき挑戦～革新的進化を繰り返し続ける歴史であったと言え、新型ロータリエンジンRENEISISにおいても大きな技術的飛躍を遂げている。

本稿では、ロータリエンジンの構造、これまでの開発の歴史及びモータースポーツ活動について紹介する。

Summary

Mazda has been developing Mazda unique technologies of rotary engines over the past 40 years. Its basic structure is simple, therefore it is lightweight and yet produces high power. Rotary engines provide more advantages than reciprocating engines, such as flat torque in the entire engine speed range, little vibration and noise due to the absence of the intake/exhaust valves and high reliability and durability in the operating range where engine speed and load are high. This has been demonstrated by the fact that rotary engine cars won in motor races. Because the rotary engine development is one of Mazda unique technologies, it has a repetitive history of unwavering challenge and innovative evolution. Rotary engine technologies have made a great leap forward in the RENEISIS as well. This paper presents the structure of the rotary engine, the history of the development and motor sports activities.

1. はじめに

ロータリエンジン（以下RE）は、自動車メーカーで現在マツダだけが持っている固有の技術である。2003年、次世代のREであるRENEISIS（ロータリエンジンの再生を意味する造語RE + GENESIS）を量産化するに当たり、REの基本となる構造と特長、およびRENEISISの基本技術となったサイド排気ポートの発端となる開発について触れながら、これまでの40年間にわたるREの開発史の概要をまとめた。

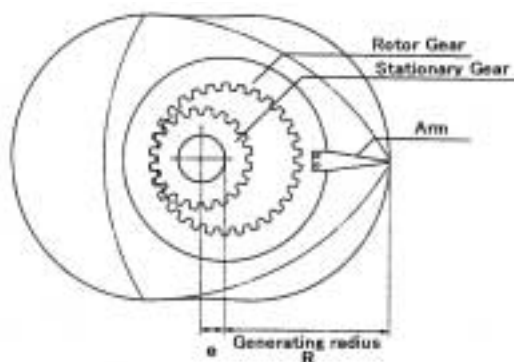


Fig.1 Theory of Peri-trochoid Curve

* 1 ~ 4 第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2

2. REの構造と特長

2.1 REの機構

REは、Fig.1に示すように基本的には断面が蚕の繭のような形をしたハウジングと、その中にある三角形のおむすび型ロータで構成されている。両者の間に形成された作動室の中で燃料と空気の混合気を燃焼させ、その膨張圧力でロータをまわす仕組みである。

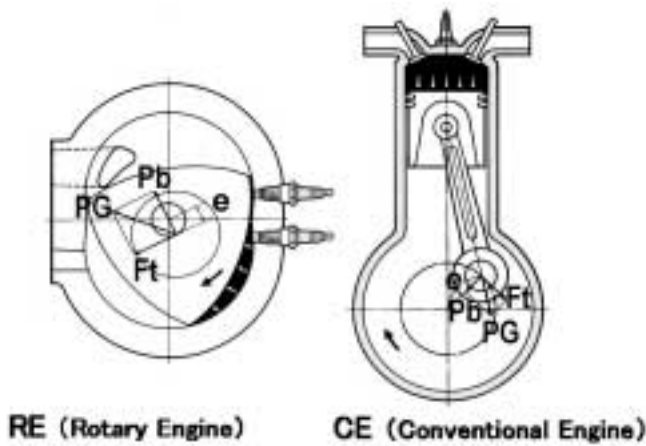


Fig.2 Torque Generating Mechanism

2.2 回転発生の原理

レシプロエンジン、REともに、回転の基となるのは燃料と空気の混合気の燃焼によって生じる膨張圧力である。しかし、その膨張圧力を回転力に変える仕組みは両者で大きく異なる。

レシプロエンジンの場合は、ピストンの上面に下向きに加わった膨張圧力がピストンを押し下げ、その動きをコンロッドとクランクシャフトによって回転運動に変える。

それに対しREでは、Fig.2に示すようにまずロータの一边に作用した膨張ガスの総合的な圧力 (Fig.2 PG) が偏心軸の中心にかかる。この力は、出力軸の中心方向 (同Pb) と接線方向 (同Ft) に分かれ、後者が出力軸を回転させるモーメントとなる。

レシプロエンジンは、ピストンの上下運動をクランクシャフトの動きによって回転運動に変える。それに対し、REの場合は、偏心軸の作用により直接ロータを回転させ、そのロータの回転によってさらに偏心軸を回転させるという仕組みであり、上下運動は存在しない。

2.3 REの作動

REでは、三角おむすび型のロータがトロコイド室内で遊星運動する過程で、作動室が移動しながら吸気、圧縮、点火・膨張、排気の4工程を行う (Fig.3)。つまり、各工程はトロコイド室内のそれぞれ別の場所で行われる。これは、4つの工程を同じ場所 (シリンダ内) で行うレシプロエンジンとの大きな相違点である。

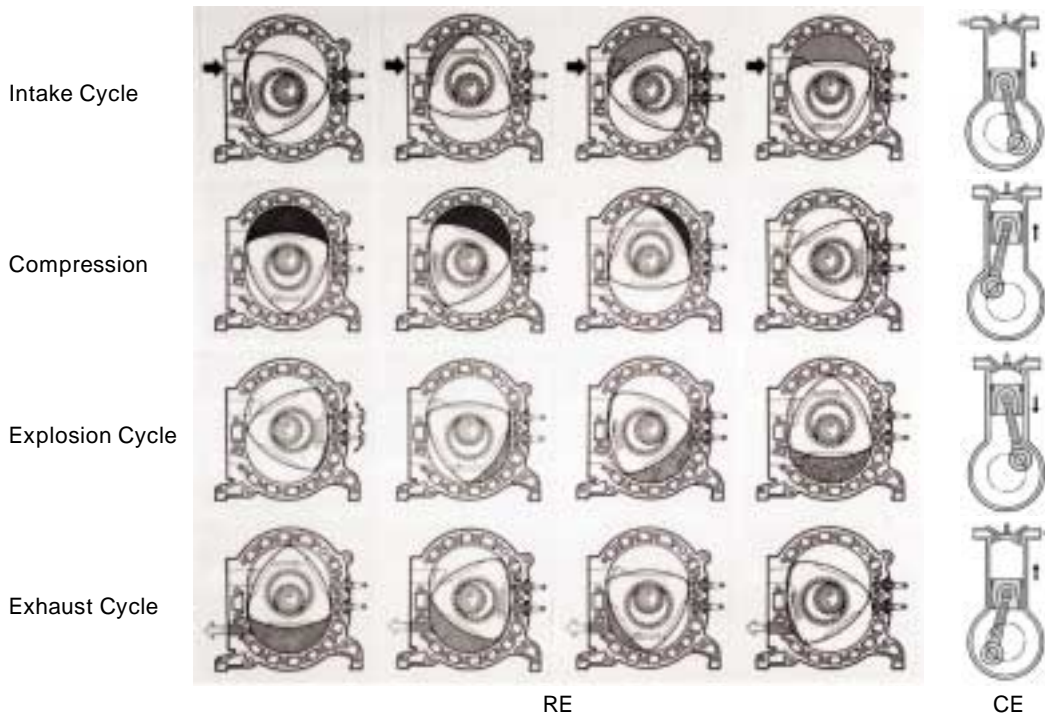


Fig.3 Working Cycles



Fig.4 Gas Seal



A : Eccentric Shaft	E : Rotor Housing
B : Stationary Gear	F : Intermediate Housing
C : Front Housing	G : Rear Housing
D : Rotor	

Fig.5 Basic Structure of RE

2.4 REの内部構造

Fig.4にREの内部構造を示す。ロータの3辺にある作動室を密閉するために、ロータ頂点にアペックシールを、頂点サイド面にコーナシールを、またコーナシール間のサイド面をシールするサイドシールを設けている。

2.5 REの構造

Fig.5に2ロータのREの構造を示す。2つのロータハウジング(図中記号E)は、3枚のハウジング隔壁(G, F, C)でサンドイッチされ、ロータハウジング内をロータ(D)が回転する構造。2つのロータは、2つのステーションナリーギア(B)を介してエンジン出力軸であるエキセントリックシャフト(A)へトルク伝達をしている。

2.6 特長

(1) 小型・軽量

基本構造がシンプルで、ロータの3辺で作動室を形成するREは、重量とスペース効率に優れている。例えば、2ロータエンジンの場合、同程度の出力とトルク特性を持つレシプロ直列6気筒エンジンと比べて、重量、大きさともに3分の2程度に過ぎない。

エンジンが「小型」であることは、車両のパッケージングに自由度を与え、「軽量」であることは運動性能と燃費

効率に大きく寄与する。静粛性やスムーズネスも、レシプロ直列6気筒エンジンに匹敵している。

(2) フラットなトルク特性

REは全回転域で比較的フラットなトルク特性を備えている。レシプロエンジンの場合はピストンなどの往復運動によって慣性力が生じトルク変動を起こしているが、REには往復運動を行う部分がないため高速になってもトルク変動が起こらないためである。また、運転中のトルク変動は、2ロータでもレシプロ直列6気筒エンジンに匹敵し、3ロータではレシプロエンジンのV8を凌ぎ、V12に近い特性を有する。

(3) 振動・騒音が少ない

レシプロエンジンの場合、宿命的にピストンの往復運動が振動発生源となりがちである。また、吸排気のパルブ機構がノイズと振動の発生源となっている。

それに対してREのスムーズな回転運動は、振動を発生しにくく、さらに吸排気のパルブ機構をもたないため、ノイズの発生も非常に少ないという特長がある。

(4) シンプルな構造

ロータと偏心軸の動きで混合気の膨張圧力を直接回転力に変えるREでは、レシプロエンジンのコンロッドにあたる部品が不要である。また、ロータの動きそのものによって吸排気ポートの開閉を行うため、レシプロエンジンのパルブ機構、すなわち、タイミングベルト、カムシャフト、ロッカーアーム、パルブ、パルブスプリングに相当する部品が不要である。

このようにREは、レシプロエンジンと比べると、非常に少ない部品点数で構成されている。

(5) 信頼性・耐久性

REは7,000~8,000rpmという高回転時でも、レシプロエンジンと比較して、ロータの回転スピードは3分の1であり、ロッカーアームやパルブを高速で動かす必要もない。そのため、高回転・高負荷運転での信頼・耐久性に優れているのが特長である。そのことは日本車としては史上唯一、RE搭載のマツダ車がル・マン24時間レースを総合優勝で制覇した実績によっても証明されている。

3 . REの誕生

3.1 NSU社との契約

西ドイツのフェリクス・バンケル博士によって発明されたバンケル型REの完成は、1959年にNSU社から公表された。当時は夢のエンジンとして世界中から約100社が技術提携を申し込み、マツダでも松田恒治社長自らREの理想と大いなる可能性を認識して直接交渉にあたり、1961年7月に正式調印した。

マツダは、ただちにNSU社の試作400ccシングルロータエンジンと設計図を入手し、同時に実用化の技術的関門として「チャターマーク(悪魔の爪痕)」問題を把握した。

3.2 実用化に向けた課題

その後、マツダ独自設計の試作REを完成させ、実用化のためには以下のような課題と、技術的な挑戦が必要であることを認識した。

(1) チャターマーク (Fig.6)

トロコイドハウジング内側に発生する波状の傷跡で耐久性を著しく低下させた。

(2) 排気の異常白煙

燃焼室内にオイルが漏れて、猛烈な白煙が発生し、またオイル消費量が異常に多かった。

(3) 低回転域での振動

シングルロータエンジンは、トルク変動が大きく高回転域では滑らかに回転するが、低回転域では回転が不安定で振動を発生していた。

(4) アイドル不安定燃焼

吸・排気ポートがペリフェラル方式であったため、吸気ポートと排気ポートとのオーバーラップが大きく、燃焼が不安定になり、低速域のドライバビリティに問題があった。



Fig.6 Chatter Mark

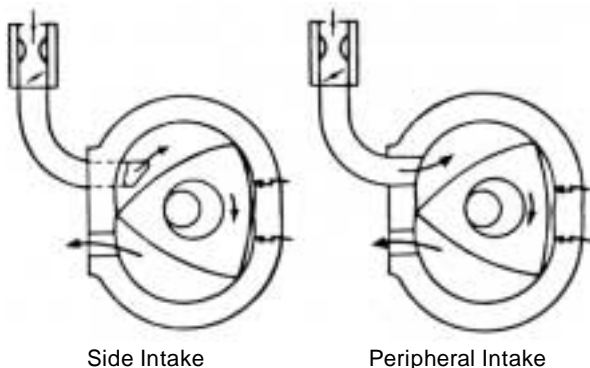


Fig.7 Evolution of Intake Port

3.3 課題解決技術

これらの問題を解決すべく1963年4月にRE研究部を設置し、山本健一部長以下47名の技術者が、徹底した研究開発を開始した。

(1) チャターマーク

さまざまなアベックスシールの設計にトライし、アベックスシールの自励振動でチャターマークが発生することを突き止めた。そしてクロスフロー型シールの開発を経て、高強度カーボン材に特殊な方法でアルミを染み込ませた素材にすることで問題を解決し、実用化した。

(2) 排気の異常白煙

エンジンオイルが燃焼室内に漏れる原因は、オイルシールの不良であった。マツダは日本ピストンリング社と日本オイルシール社の協力を得て、テーパカット形状のシール部を持ちゴム材リングで位置決めする革新的なオイルシールを開発し、問題を克服した。

(3) 低回転域での振動

完全な回転バランスがとれる多ロータのRE (2ロータ、3ロータ、4ロータ)を開発して、低回転域の振動を解消できることを確認し、量産はシンプルな2ロータ方式に決定した。

(4) アイドル不安定燃焼

吸気ポートと排気ポートのオーバーラップを低減するために、Fig.7に示すようなサイド吸気方式を開発した。これによりアイドルの燃焼を画期的に安定させることに成功し、サイド吸気ポートとペリフェラル排気ポート方式の組み合わせで量産することとなった。

3.4 初期型サイド排気ポートの開発

(1) 開発の狙い

1965~1970年にわたり、REの基本性能改善のため、サイド排気ポートの開発に挑戦した。当初、サイド吸気ポートと同じ発想で、吸気ポートと排気ポートのオーバーラップをゼロにすることで低速域でのドライバビリティの向上を狙っていたが、開発着手後に、低エミッション、低騒音の特長もあることが判明し、米国のエミッション規制対応技術としても注目し開発した。

(2) 構造

開発初期の10A型サイドポート排気は、インターメディアイトハウジングに排気ポートがない片排気構造 (Fig.8)

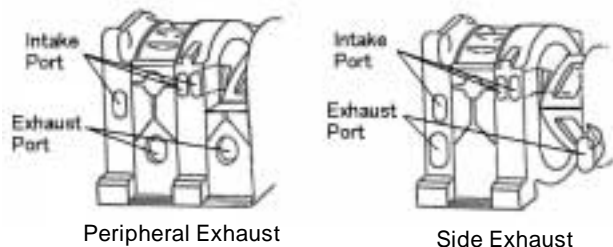


Fig.8 Structure of Single Exhaust

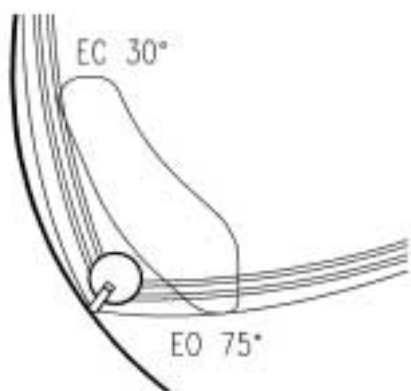


Fig.9 Double Side Seals

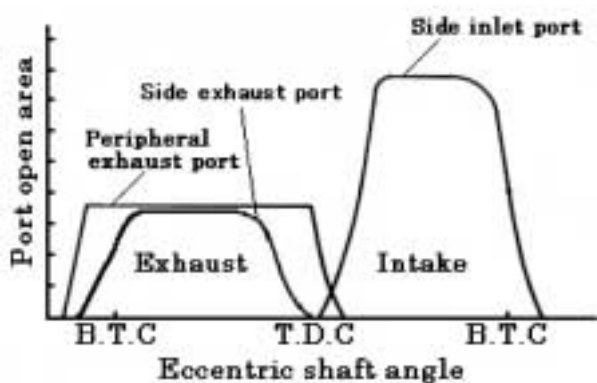


Fig.10 Intake/Exhaust Port Characteristic

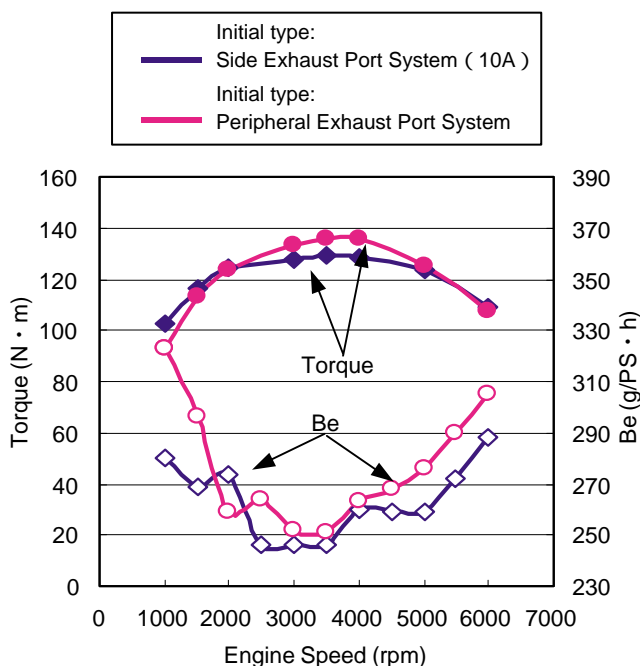


Fig.11 Torque and Be Curve

となっており、またサイドシールが2重構造 (Fig.9) のため吸・排気ポートのオーバーラップをゼロにするには、排気クローズタイミングは上死点前30°が限界となっている。このため、排気ポート面積はペリフェラルポート排気に比べ約3%小さかった (Fig.10)。これは、今回の新開

発RENEISISサイド排気⁽¹⁾の排気ポート面積と比べると約1/3の大きさでしかない。

(3) 性能領域

初期型ペリフェラルポート排気に比べ、Fig.11に示すように燃料消費率は改善し、未燃HC (炭化水素) 排出量は軽負荷域で約30%改善した。吸排気ポートのオーバーラップは見かけ上解消しているが、ロータとサイドハウジングとのクリアランスで実質的なオーバーラップが残っていたため、もっとも期待されたドラバビリティ向上のためのアイドリング性能改善効果が得られなかった。また、片排気方式であったため、排気ポート面積が小さく排気効率が十分確保できないため最大出力性能が約7PS低下した。

(4) 信頼性領域

長時間運転すると排気ポートが閉塞する問題があった。当時はガスシールの潤滑ため、燃料と油を混合して給油する方式をとっており、オイル消費量が極めて多く、カーボン発生量の多いことが原因であった。更にロータ側面が排気ポートに開口するため、ロータに装着したリングが高温にさらされ焼損し、機能を喪失した。

これらの問題が解決出来ないことと、ペリフェラル排気ポート方式は、米国で施行されたマスキー法への対応見通しがたったことで、1970年にはサイド排気の開発は中断された。しかしサイド排気ポート方式のいずれの問題も、RE自体の熟成やエンジン周辺技術の進化により、新開発RENEISISのサイド排気ポートでは解決され実用化が可能となった。

4 . REの発展

4.1 黎明期

1967年5月30日、マツダは世界初の2ロータエンジン搭載車であるコスモスポーツを発売した。

110馬力 (PS) を発生する量産型10A型エンジン (単室容積491cc) は、低回転から高回転まで安定した燃焼を得るため、2ステージ4パレルキャブレタと各ロータ当たり2本のスパークプラグを使用した。そして三次テストコースでの200km/h近い高速テスト、全天候型シャシーダイナモメータでの北海道やカナダを想定した -20 以下の始動テストや猛暑を想定した +40 近い条件での走行テストが行われ、6年間にわたって300万kmの走行テストをクリアした。

一方、当時アメリカ合衆国で施工されようとした世界で最も厳しい排気ガス規制を含むマスキー法に適合するための技術開発をした。REは、レシプロエンジンに比較すると、NOx (窒素酸化物) の発生は少ないが、HCを多く発生する傾向がある。

マツダは、先に述べたサイド排気方式と排気のHCを再反応させる熱反応器 (サーマルリアクター) 方式の開発に

取り組み、後者の開発に成功した。世界各国の自動車メーカーがマスキー法基準の早期達成は困難だと表明する中、合衆国政府主催の公聴会において、マツダのREは、マスキー法基準に合格することが可能であると答申した。1973年ファミリアロータリクーペに搭載しアメリカ合衆国への輸出を開始した。

1970年代に勃発したオイルショック（世界的な石油価格の高騰）により、燃料を多量に消費したREは大幅な燃費改善が存続のための至上命題となった。そのため「フェニックス計画」を立ち上げ、1年で20%向上、最終的には40%の向上を達成するため、エンジンの基礎的な改良、熱反応器の改良などで希薄燃焼化を行い、目標を達成した。その成果は、1978年に発売した初代RX-7に結実した。

4.2 高性能化の時代

低公害技術の確立と、燃費性能の向上という2つの技術開発をやり遂げたマツダは、これらの技術を基盤に高性能化技術への発展を進めていった。

(1) 6PI + 排気触媒

1981年に6PI（6ポートインダクション）方式と触媒方式を12A型エンジン（単室容積573cc）に採用した。6PIは、世界初の吸気タイミング可変方式で、単室あたり3つの吸気ポートを採用し、2段階に分けて開閉する燃費と出力とを両立するシステムであった。

(2) ダイナミック過給

1983年に自然吸気で過給するダイナミック過給を13B型エンジン（単室容積654cc）に採用した。この方式は、2ロータの吸気特性を活用して、空気を多量に吸入する非常にシンプルな機構である。6PIと組み合わせることで、12

Bのターボ並の出力を發揮した。

(3) ターボチャージャ

1982年にターボチャージャを12A型エンジンに採用した。その後、REの排気特性を活かしたインパルスターボや13B型エンジンに採用した可変スクロールターボ、そしてインディペンデントターボなど、世界発のターボ技術を一気に進化させて、出力改善を図った。

(4) 究極のターボチャージャと3ロータ

1990年には、究極のターボ方式といわれるシーケンシャルツインターボを実用化した。これは低速域で1基のターボを使い、高速域では2基のターボを使って、ターボの弱点であるターボラグの大幅低減と、高出力化を図った量産世界初のシステムである。また同時に3ロータエンジンを開発し、V12に迫る低振動を実現した。

5. モータースポーツ

当社のモータースポーツ（以下、MS）の歴史は、1964年5月の第2回日本グランプリにまでさかのぼるが、ここではREによる活動の歴史について紹介する。当社は、REの開発初期から常に新しい技術をMSの場に投入し、REの高性能、信頼性、耐久性をアピールすると共に、そこからのフィードバックを量産車に活かしてきた。その点から当社のMSの歴史はREの開発と表裏一体の関係にあると言っても過言ではない。Fig.12に当社のREでのMS活動の概要を示す。

5.1 初期のレース活動：コスモスポーツ参戦

2ロータRE搭載のコスモスポーツが発表されるのと同時に、REの高性能、信頼性、耐久性をアピールする場と

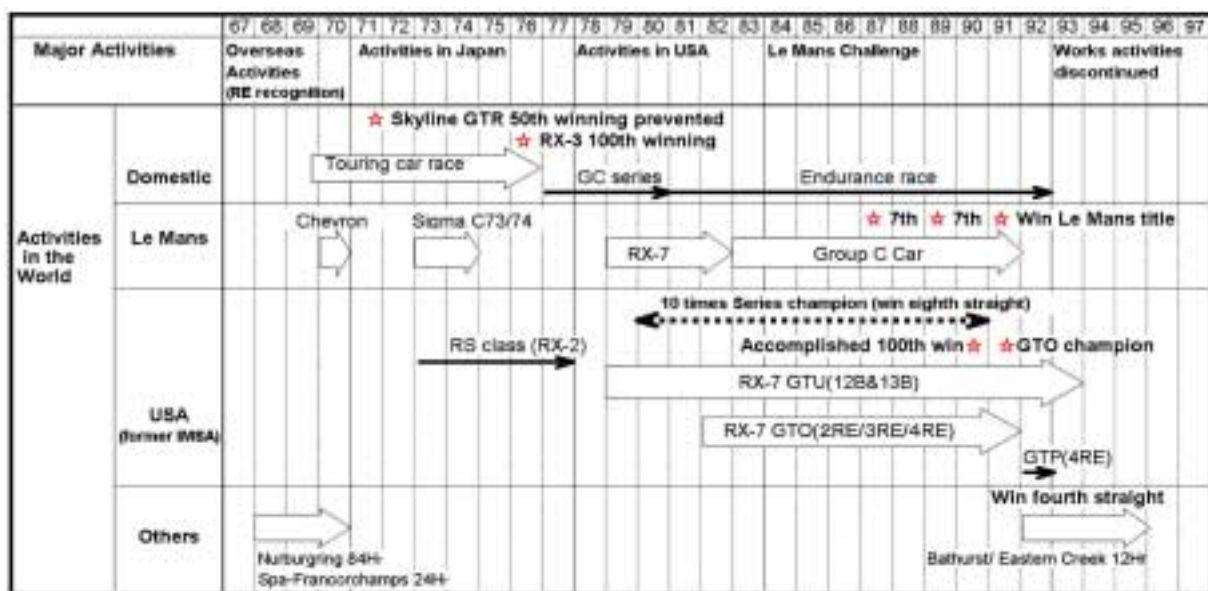


Fig.12 Motor Sports Activities

して最初に選ばれたのが、1968年8月にドイツのニュルブルクリンクで開催されたマラソン・デ・ラ・ルート84時間レースである。このレースに2台のコスモスポーツを出場させた（Fig.13）。搭載されたエンジンは市販車用の10Aエンジンを改良しコンビネーションポートを採用、出力は130PS / 7,000rpmであった。レース結果は、1台がリアアクスルのトラブルでリタイアしたが、もう1台は84時間を走り抜いて完走、総合4位に入賞し、未知のREが高いポテンシャルを有していることを世界に示した。

1968年7月に販売開始されたファミリアロータリクーペは、発売以降MS活動の主力車として使用された。搭載された10A型エンジンはペリフェラルポートの採用により、最高で200PSを発揮。その活躍ぶりに『小さな巨人』というニックネームがつけられた。

5.2 日本でのレース活動：サバンナRX-3国内100勝

1971年9月に発表された初代サバンナ（10A型）は、同年12月の富士500マイル・TTレースで優勝し、スカイラインGTRの国内レース通算50連勝達成を阻止した。

1972年には12Aエンジンを搭載したサバンナRX-3が登場し、5月の日本GPで独走し、優勝。その後、快走を続け、1976年5月のJAF - GP優勝で、国内レース通算100勝目を記録した（Fig.14）。

5.3 北米（IMSA）でのレース活動：サバンナRX-7

1979年2月RX-7がデイトナ24時間レースでデビュー、スタートから順調に走りGTUクラス1、2位（総合5、6位）となる。信頼性が高いREを搭載し、操縦性に優れたRX-7はIMSAシリーズ・GTUクラスを席卷、ポルシェの連続記録を次々に破り、1987年にはIMSA-GTUクラス史上初の8年連続のマニファクチャラーズチャンピオンとなる。更には単一車種としてIMSAシリーズ最多優勝記録を更新し、1990年9月には通算100勝目を達成した（Fig.15）。

5.4 ル・マン総合優勝

REがル・マンに初めて登場したのは1970年で、ベルギーから個人参加で10A型エンジンが搭載されたシェブロンB16であった（4時間でリタイア）。1981年から（株）マツダスピードが、REを搭載した車両で毎年ル・マンに参戦を続けた。

1986年には、マルチローター化（ターバ継ぎ手と言うオーソドックスな手法で2分割シャフトを実用化）された20B型3ローターREが登場した。翌1987年にはこの3ローターREを搭載したマツダ757が快調に周回を続けル・マン史上日本車最高位の総合7位となっている。さらに1988年には、3ローターREのリヤ側に1ローターを追加し4ローターRE化し、高出力化された13J改型エンジンが登場した。



Fig.13 COSMO SPORTS



Fig.14 SAVANNA RX-3



Fig.15 RX-7 GTO



Fig.16 R26B



Fig.17 787B

RE最後のル・マン挑戦となったR26B型エンジン (Fig.16) は、高出力と低燃費、信頼性を両立させるためリニア可変吸気や3プラグ点火、2分割セラミックAS等の採用で大幅な性能向上が図られ、最高出力700PS、最高エンジン回転数9,000rpmに達した。そして1991年、この小型&軽量&ハイパフォーマンスを誇るR26B型エンジンを搭載するマツダ787Bは日本車初の総合優勝を飾った (Fig.17)。

その後も、他社によるル・マン挑戦は続けられているが、日本車での総合優勝は果たされておらず、唯一ロータリエンジンだけがこの偉業を成し遂げたことになる。ロータリエンジンの性能、信頼性、耐久性の高さを証明する歴史と言える。

6. おわりに

ロータリエンジンの進化の歴史について説明させていただいた。過去も現在もロータリエンジンは世の中の変化に応じて、常に挑戦を続けてきた。環境に貢献し、お客様に走る喜び、すなわち「夢」を提供するために、技術者がこだわり続けた技術。夢の実現の為に、「寝ても覚めても」革新技術を考え、「あくなき挑戦」を続けてきた。応援して下さっているお客様、並びにロータリエンジンの開発にかかわられてきた全ての方々へ心からお礼を申し上げます。

そして新生ロータリエンジンで、多くのお客様へ、「夢」を提供できることを祈念してやみません。

参考文献

- (1) Shimizu et al. "The Characteristics of Fuel Consumption And Exhaust Emissions of the Side Exhaust Port Rotary Engine"; SAE Technical Paper (1995)

著者



神原伸司



藤本順章



布施 卓



櫻山謙二

特集：ロータリエンジン

2

RX-8搭載の新開発RENESESIS New Rotary Engine “RENESESIS” Mounted on RX-8

木ノ下 浩*¹ 野口直幸*² 山田 薫*³
 Hiroshi Kinoshita Naoyuki Noguchi Kaoru Yamada
 中村光男*⁴ 藤平伸次*⁵ 横尾健志*⁶
 Mitsuo Nakamura Shinji Fujihira Takeshi Yokoo

要約

RX-8に搭載するため新開発したロータリエンジン（以下RE）は、従来のペリフェラル排気ポート方式からサイド排気ポート方式⁽¹⁾に変更して出力・燃費・エミッション（以下EM）の革新を行い、更にREの長所を伸ばすためエンジン全般に渡る熟成を重ねたものである。この新開発エンジンを、REの新たな創生を意味する『RENESESIS』（RE + GENESISの造語）と命名した。

『RENESESIS』は、回転系軽量化技術などによる高回転化や、運転回転ごとに吸気量を最適化するシーケンシャルダイナミックエアインテークシステム及び1ロータあたり3本のフューエルインジェクタを採用し、低回転域から9,000rpmにいたる高回転域まで高いトルクを発生できるようにした。またフューエルインジェクタ・点火プラグ改良による低燃費化、高精度空燃比制御による低EM化を図った。これらの結果『RENESESIS』は、高出力・低燃費・クリーンな排出ガスを有する新世代REとして世界にデビューした。

Summary

The rotary engine, newly developed for the RX-8, has adopted a side exhaust port system in stead of a peripheral exhaust port system used in a previous rotary engine to make innovative advances in power, fuel economy and emissions. The entire engine has been matured to enhance various advantages of the rotary engine. This new engine is named RENESESIS, which stands for “The RE (Rotary Engine) ’s GENESIS” or the rotary engine for the new millennium.

RENESESIS produces high engine speed by using such technologies as lightweight rotating parts, optimizes intake air corresponding to the engine speed and employs a sequential dynamic air intake system as well as three fuel injectors per rotor, providing high torque generation from low to high engine speed of 9,000 rpm. The fuel injectors and spark plugs are upgraded to improve fuel economy. High precision air / fuel ratio control is used to reduce emissions. As a result, the RENESESIS has made its debut as a new-generation rotary engine with high power and fuel economy, and clean exhaust gas.

1. はじめに

REの出力・燃費・EMなど基本性能を高めるために従来のペリフェラル排気ポート方式に代わるものとして、サイド排気ポート方式を開発した。そしてRX-8に搭載することを前提に、各性能を一段と高めるとともに、REの長所を最大限生かすように細部まで熟成を重ねた新開発エンジンがRENESISである。

2. 新開発RENESISのコンセプト

従来のターボ装着REに比較して、レスポンスと高回転までのリニアな伸び感を追求して、幅広いユーザが扱いやすく、かつ21世紀のクリーン環境への貢献を目指して、サイド排気ポートをベースに進化させた。

開発で取り組んだ新技術項目を以下に示す。

- (1) 全回転域にわたる高出力化のためのNA（自然吸気）技術
- (2) 出力性能の高回転化技術
- (3) アイドルを中心とした燃焼安定化技術
- (4) 排気クリーン化のためのEM技術
- (5) 軽量・コンパクト化技術
- (6) REフィール育成技術

またRENESISは、高出力に特化した<High>パワーユニットと低中速トルクを重視した<Std>パワーユニットの2機種を開発した。

主要な新技術、エンジン外観図、主要仕様をそれぞれFig.1, 2, Table1に示す。

1.Higher Output	
Side Exhaust Port	
Intake Port Area Enlarged	
Exhaust Port Area Enlarged	
Compression ratio Up	
S-DAIS (Sequential Dynamic Air Intake System)	
SSV (Secondary Shutter Valve)	
VFAD (Variable Fresh Air Duct)	
APV (Auxiliary Port Valve)	
VDI (Variable Dynamic effect Induction)	
2.Improved Fuel Economy	
12 Nozzle Hole Injector	
Jet Air Fuel Mixing System	
PAB (Port Air Bleed)	
AWP (Anti Wet Port)	
3.Improved Exhaust Emission	
Dual Wall Exhaust Manifold	
Secondary Air Induction	
Elec Air Pump	
Precision Control of A/F	
Linear Sensor of O ₂	
Correction Control of A/F	
O ₂ Sensor	
Higher Energy Ignition System	
Microelectrode Spark Plug	
L-jetronic Fuel Control System	
4.Response	
Light Weight Rotor	
Light Weight Flywheel	
DBW (Drive By Wire System)	
Electronic Controlled Throttle	

Fig.1 Aims and New Technology



Fig.2 External Photo of Engine

Table1 Main Specification

Engine		13B-REW	13B-MSP		
			High Power	Std Power	
Displacement	cc	654 x 2			
Intake Type		Side Intake			
Intake Port Number		4PI	6PI	4PI	
Exhaust Type		Peripheral Exhaust	Side Exhaust		
Compression ratio		9.0	10.0		
Port Timing	Pry	I.Q. ATDC	45°	3°	
		I.Q. ABDC	50°	65°	60°
	Sry	I.Q. ATDC	32°	45°	12°
		I.Q. ABDC	50°	36°	45°
	Aux	I.Q. ATDC	-	38°	-
		I.Q. ABDC	-	50°	-
Exh.	E.Q. BBDC	75°	50°	40°	
	E.Q. ATDC	48°	3°		
Intake Port Area	Pry	cm ²	6.09	10.11	9.29
	Sry	cm ²	9.29	7.81	8.99
	Aux	cm ²	-	6.64	-
EGI Type		D-J Type	L-J Type		
Throttle body		Mechanical	Electronic		
Fuel System		Fuel Return	Fuel Return Less		
Intake System		Non Variable Intake	S-DAIS		
Ignition Type		Another Igniter	S-DLI		
Intake Charge Type		Sequential twin-turbo	-	-	
MAX. Torque	N·m/rpm	314/5000	216/5500	222/5000	
MAX. Power	kW/rpm	206/6500	184/8500	154/7200	
	(PS/rpm)	(280/6500)	(250/8500)	(210/7200)	
Improvement of Emission		S53 regulation	E-LEV()		

3. 基本性能

Fig.3~5に、出力性能、燃費性能、EM性能を示す。

Fig.3はエンジンの出力トルク性能である。<High>パワーユニット、<Std>パワーユニット、それぞれの特性を示した。

Fig.4はRX-7とRX-8（3仕様）の10-15モード燃費性能であるが、RX-8<Std>5MT車では10km/Lを達成した。

Fig.5はRX-7とRX-8（3仕様）のEM性能であるが、RX-8はH12年EM規制値の約1/2を達成した。

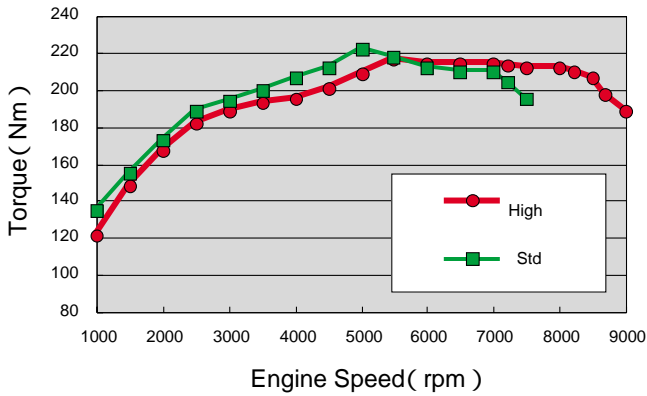


Fig.3 Engine Performance

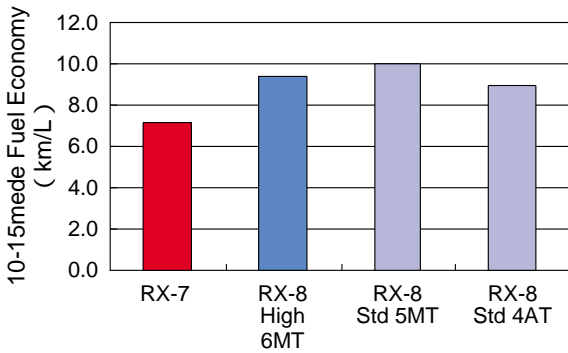


Fig.4 10-15 Mode Fuel Economy

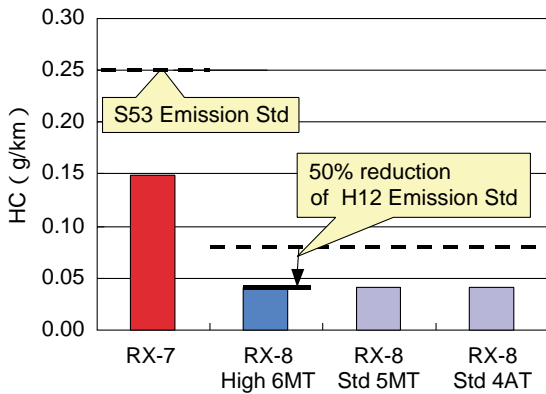


Fig.5 Exhaust Emission

4. 高出力化技術

4.1 高回転化技術 (9,000rpm化)

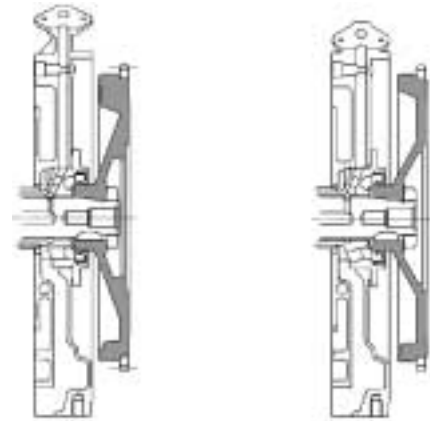
サイド排気ポート化することで、アベックスシールの磨耗が改善されたことに加え、回転系や燃料系の改善を加えることで、9,000rpmまで滑らかに回転させることができた。

(1) 軽量フライホイール&ロータ (Fig.6, 7)

量産型REに比べ、ロータは高精度のキャスト技術の採用により単体で5%, フライホイールは単体で15%軽量化し、エキセントリックシャフトの撓みを低減した。

(2) 3インジェクタ (Fig.8)

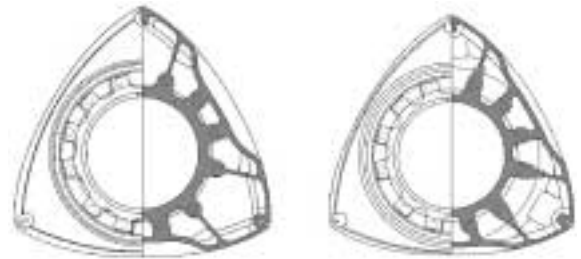
<High> パワーユニットについて、燃費・レスポンス・ハイパワーを両立するため1ロータあたり、プライマリポートに2本、セカンダリポートに1本、計3本のインジェクタを装着した。



RX-7

RX-8

Fig.6 Light Weight Flywheel



4.1kg

RX-7

3.9kg

RX-8

Fig.7 Light Weight Rotor

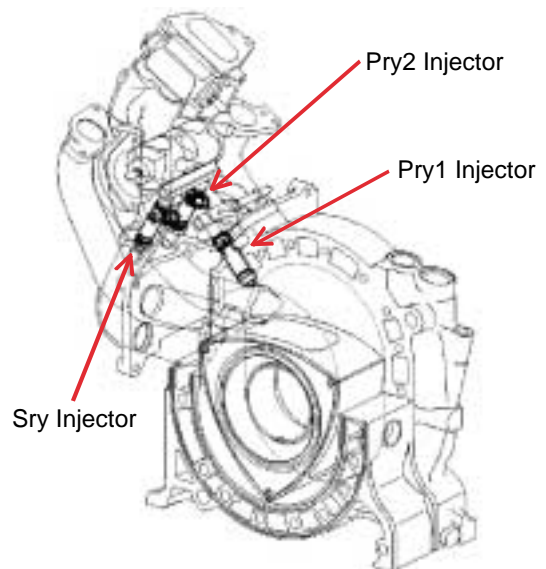


Fig.8 3 Fuel Injector System

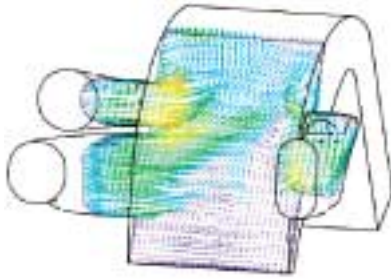


Fig.9 CFD Analysis

4.2 S-DAIS

(Sequential Dynamic Air Intake System)

(1) 吸気抵抗低減

高回転でのストレート&大口径化を実現する可変フレッシュエアダクトを採用すると同時に、大型エアクリナーによる抵抗低減と清浄効率の両立を図り、吸気マニホールドまでの理想的なストレートレイアウトによる低抵抗化を達成した。さらにCFD解析(Star-CD)を用いた吸気マニホールド内部形状や吸気ポート形状の最適化に加え、作動室内部での流れの干渉を低減する吸気ポートの最適形状を設計した(Fig.9)

(2) S-DAIS

低回転から高回転まで幅広いトルクを実現するため、1つの吸気ポートの開口面積とそれぞれの吸気管長を回転域に合わせて段階的にコンピュータ制御するS-DAIS(Sequential Dynamic Air Intake System)を採用した。

その作動特性と機構について以下に説明する。

基本的にエンジン回転数で制御される吸気通路の開閉弁をFig.9のように複数設け、次の回転数毎に制御される。

ハイパワーユニットの吸気システム図をFig.10に示す。

① 3,500rpm以下の領域

3つの吸気ポートの内2つは吸気弁により閉塞され、中央のプライマリポート(Pry Port)のみから吸入され、高い吸入流速により、吸気の充填量を増加させている。

② 3,500~5,500rpmの領域

吸気管のセカンダリ通路に設けたSSV(セカンダリ・シャッター・バルブ)を開放して、吸気抵抗を低減し、充填効率を確保する。Fig.11にSSVの構造を示すが、開弁した時の、通気抵抗を減らすためロータリバルブ方式を採用した。

③ 5,500~6,500rpmの領域

②の状態から、エアクリナー上流に設けたフレッシュエアダクトの吸い口を2系統ともに開放し、通気抵抗を低減した。Fig.12にその構造を示す。

④ 6,500~7,500rpmの領域

③の状態から、オグジュアリポートに設けたAPV(オグジュアリポートバルブ)を開放して、3つの吸気ポートを全て開放して、吸気抵抗を最小にする。Fig.13に構造を示す。

⑤ 7,500rpm以上の領域

④の状態から、VDI(バリエブル・ダイナミック・インテーク)の弁を開放して、吸気の動的な効果を得るための実質的な吸気管の長さを短くすることで、高速域の充填量を高める。Fig.13に構造図を示すが、開弁時の圧力波伝播の減衰を防ぐため、ロータリバルブ方式を採用した。

Fig.14にS-DAISの各バルブの開閉タイミングを示す。

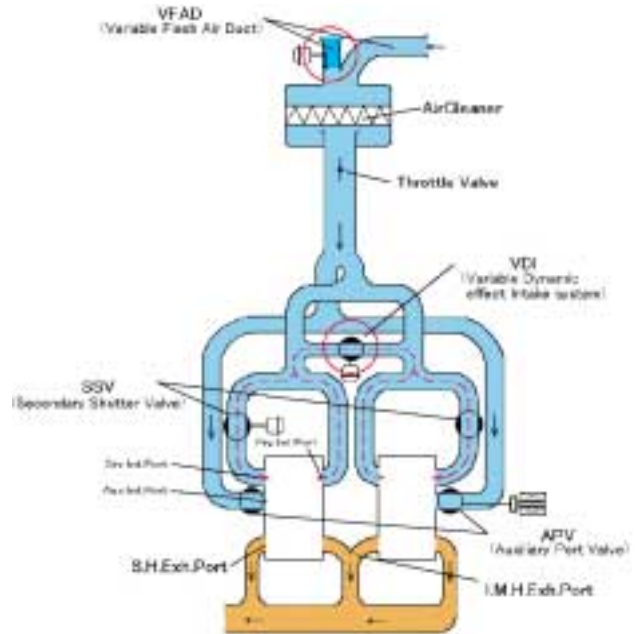


Fig.10 S-DAIS (High Power Unit)

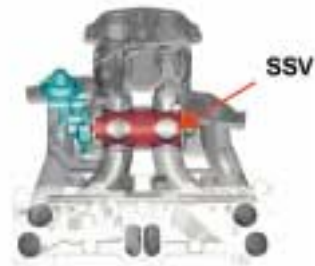


Fig.11 Secondary Shutter Valve



Fig.12 Variable Fresh Air Duct

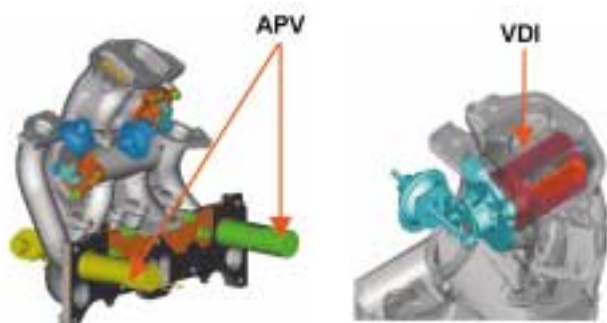


Fig.13 Auxiliary Port Valve and Variable Dynamic Effect Intake

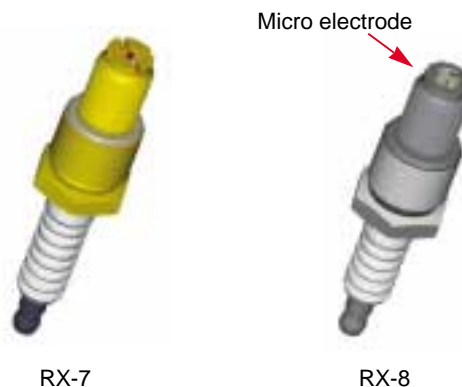


Fig.16 Spark Plug

SSV	Close	Open			
VFAD	Close	Open			
APV	Close	Open			
VDI	Close	Open			
Engine speed (rpm)	3750	5500	6000	7250	

Fig.14 S-DAIS Changing Timing

4.3 低抵抗排気

排気系についても、エグゾーストマニホールド含め通路を大径化するとともに、メインサイレンサを大容量化しインレットパイプをサイレンサポデー中央貫通構造とすることで低抵抗化を達成した。

5. 低燃費技術

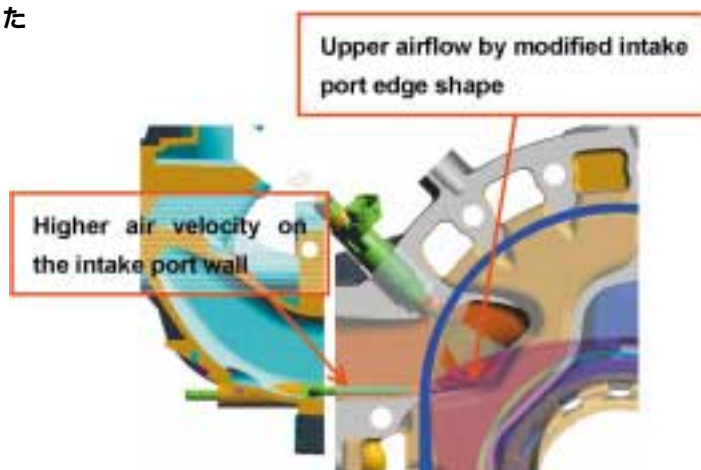
5.1 アイドル燃費改善

(1) Jet Air Fuel Mixing System & 12噴孔インジェクタ

燃料の霧化/気化/混合を促進するため、プライマリ吸気ポートにJet Air Fuel Mixing Systemと小型12噴孔インジェクタを採用した。先絞りのパイプからジェットエアを導入して、吸気ポート壁面に付着した比較的大きな燃料を効果的に微粒化し (PAB), 更に、形状を最適化した吸気ポート下部より、燃料を点火PLUG方向へ運ぶような気流を形成し (AWP), 混合気の理想的な状態を実現した (Fig.15)。



RX-7



RX-8

Fig.15 Jet Air Fuel Mixing System

(2) 新開発点火プラグ

点火PLUG電極の火炎核消炎作用を抑制するために、単一の小型側方電極、先端は極細 (マイクロ電極) で碍子内部は極太の中心電極の点火PLUGを開発し、着火性の大幅改善を実現した。同時に、電極および碍子の温度低減と、側方電極に白金、中心電極先端にイリジウムチップを採用し、高耐熱と長寿命を確保した (Fig.16)。更に、点火のタイミングを適正化することで、アイドリングでの大幅な着火性の改善を実現した。

5.2 熱効率改善

サイド排気化により排気オープンタイミングの排気ポートの面積を十分確保したまま排気オープンタイミングを遅らせる事ができ、膨張行程を長くさせることで熱効率を向上させた (Fig.17)。

6. エミッション技術

REの構造を生かし、最新技術を導入したEM低減システムを開発し、世界最高水準のEM規制への適応が可能になった。詳細は、『新開発RENEISISのエミッション低減技術』の論文で述べるので、概要について紹介を行う。

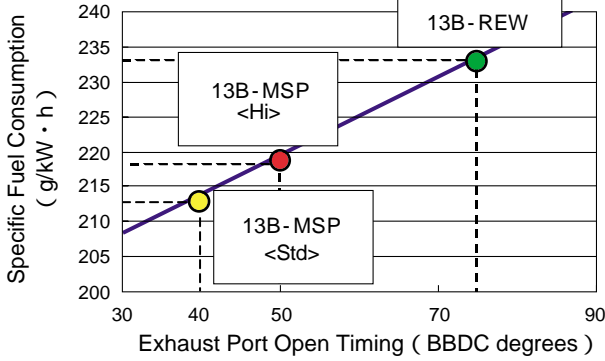


Fig.17 Exhaust Open Timing and Be

6.1 2次エア反応システム

まずREの構造を生かした2次エア反応システムを新開発した。始動時のみエアを供給する電動エアポンプ方式を採用し、キャタリストの初期活性化を高めた。そして供給したエアで再反応した排気ガス温度を極力保温するため、排気ポートインサートと2重構造の排気マニホールドを新開発している。

6.2 高性能キャタリスト

新開発のプラチナ - パラジウム - ロジウム系触媒を採用した。この新触媒と薄壁セラミック担体との組み合わせ技術で、ウォームアップ改善と抵抗低減を両立させ、従来のキャタリストに比べて同じ貴金属使用量で、冷間時のライトオフ性能を改善した。

6.3 高精度A/F制御

32ビットPCM (Powertrain Control Module) での演算により、最適な燃料噴射を行う。Fig.18に制御系システム図を示す。

7. 軽量化技術

スーパーコンピューターによる解析を重ね、高剛性を確保しながら、サイドハウジングなどのリブを薄肉化した (Fig.19)。また、RE特有の吸気脈動を利用するため、非常に長いインテークマニホールドの約半分を樹脂製 (Fig.20)

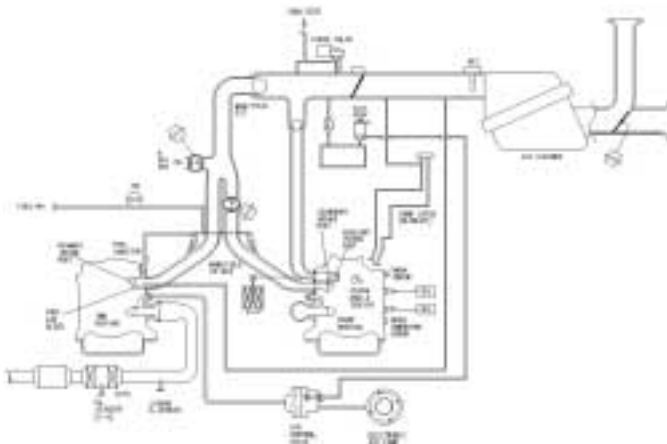


Fig.18 Engine Fuel & Emission Control System

にし、更にウォーターポンプをフロントカバーと一体化 (Fig.21)、エアコンのコンプレッサーブラケットを廃止してエンジン本体に直付けするなど、軽量化を徹底的に追及した。

8. コンパクト化技術

自然吸気REの本来のコンパクトさに加え、ウエットサンプル潤滑システムを採用し、オイルパンの厚さを従来REの半分程度の約40mmに抑えた (Fig.22)

これにより、RENESISはオールアルミ直列4気筒のエンジンと同等の質量にしながら、約70%のパッケージを実現した (Fig.23)。



Fig.19 Section of Intermediate Housing



Fig.20 Plastic Intake Manifold

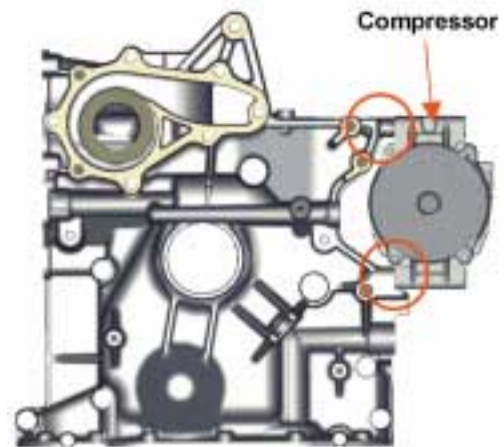


Fig.21 Directly Mounted Air Compressor on Front Cover

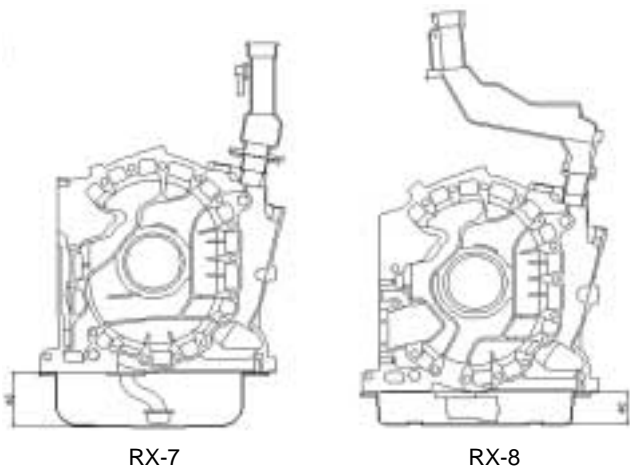


Fig.22 Compact Wet Sump (RENEISIS)

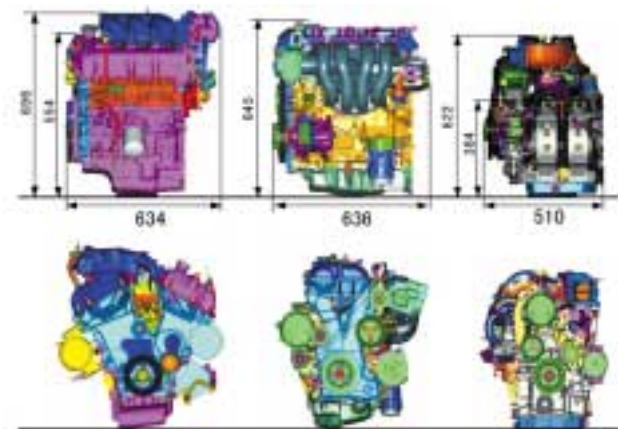


Fig.23 Comparison of Volume

9 . ロータリ・フィーリング

これまでに述べた高性能化技術をベースに、従来にない新しい「走りの楽しみ」を実現するため、REが持つ特性を最大限に生かした、スポーツカーに相応しい、より魅力的なロータリ・フィーリング実現を目標とした。

そこで、NAのサイド排気の素性を生かし、以下によって、新しいロータリ・フィーリングに進化し、「走りの楽しみ」を高めた。

- ① 「レスポンス」：加速応答の速さ
高回転化のための回転系軽量化や燃費やEMのための燃料制御技術により実現した。
- ② 「伸び感」：低中速と高速での加速バランス
S-DAISなどの吸気技術と高回転技術によるトップエンドまでのトルクを確保することで実現した。
- ③ 「エンジンサウンド」：静粛性とリニアな加速サウンドの両立

回転系のバランス精度アップと吸排気のチューンで実現した。

なお、詳細については『ロータリ・フィーリング / 「走りの楽しみ」』の論文で述べる。

10 . おわりに

ペリフェラル排気ポートから、サイド排気ポートをベースに、数々の新技術を開発して採用したRENEISISは、今後のREの基幹技術である。

今後も独自の魅力あるREを開発することで、お客様に感動を提供し続けていきたい。

参考文献

- (1) Shimizu et al. " The Characteristics of Fuel Consumption And Exhaust Emissions of the Side Exhaust Port Rotary Engine ", SAE Technical Paper (1995)

著 者



野口直幸



山田 薫



中村光男



藤平伸次



横尾健志

特集：ロータリエンジン

3

サイド排気ポート方式ロータリエンジンの概要 Side Exhaust Port Rotary Engine

田島 誠司*¹ 清水 律治*² 小藤 秀明*³

Seiji Tashima

Ritsuharu Shimizu

Hideaki Koto

海老野 弘*⁴ 岡崎 俊基*⁵ 植木 信也*⁶

Hiroshi Ebino

Shunki Okazaki

Shinya Ueki

要約

新開発『RENESES』は、ロータリエンジンの最大の魅力である加速フィーリングを最大限に発揮させながら、高性能化だけでなく燃費改善・排出ガスクリーン化を実現するロータリエンジンである。

従来のペリフェラル排気ポート方式から、サイド排気ポート方式⁽¹⁾にすることで、吸気ポート面積の30%拡大による高出力化、排気ポートオープンタイミングの遅角化による熱効率の向上と内部EGRの減少に伴うアイドル燃焼の安定化による燃費改善、そして未燃炭化水素（以下HC）総排出量の低減による排出ガスエミッション性能の改善を実現した。

Summary

By making the most of the rotary engine's great appeal of acceleration feel, the new RENESIS delivers not only high performance but high fuel economy and clean exhaust gas as well.

The peripheral exhaust port of a previous rotary engine has been replaced with a side exhaust port system. This allows an intake port area to increase by 30%, thus producing high power. Exhaust opening timing is retarded to improve thermal efficiency. The side exhaust port also allows the internal EGR to be reduced, stabilizing combustion at idle. The improved thermal efficiency and the stabilized idle combustion improve fuel economy. In addition, the side exhaust port provides the reduction in the HC mass, thereby realizing improved exhaust gas emissionability.

1. はじめに

21世紀を迎え、幅広いお客様の期待に応えるためには、高性能化とともに燃費や排出ガスエミッションの大幅な改善が必要であった。このため、ロータリエンジン（以下RE）で35年間採用してきたペリフェラル排気ポート方式から、サイド排気ポート方式に変更するための開発に取り組み、RX-8搭載のRENESESの基幹技術へと進化させた。本稿では、そのサイド排気ポート方式REの技術概要について述べる。

2. 従来REの課題

従来REは、サイド吸気ポートとペリフェラル排気ポートの組み合わせで燃費・排出ガスエミッション性能改善、出力性能向上に積極的に取り組んできたが、以下に述べる課題があった。

2.1 燃費

従来REでは、低回転軽負荷領域において燃焼安定性を確保するために空燃比を理論空燃比より濃くし、排出ガスエミッションを確保するために、機械式エアポンプを使って、排気へ二次エアを供給していた。また、ペリフェラル排気ポートの構造上、排気オープンのタイミング（以下EO）が早く膨張エネルギーを回収するうえで不利であった。従って熱効率向上のためには、理論空燃比での燃焼安定性向上とEOの遅延化が重要な課題であった。

(1) 熱効率

熱分配と混合気の濃さの関係をFig.1に示す。過濃混合気領域において、HC、CO等の未燃成分化学エネルギーとして持ち去られる量が増加し、熱効率が低下する関係にあることが分かる。

(2) 軽負荷の燃焼安定性

燃焼安定性向上のためにロータリセス（燃焼室）形状最

* 1 ~ 6 第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2

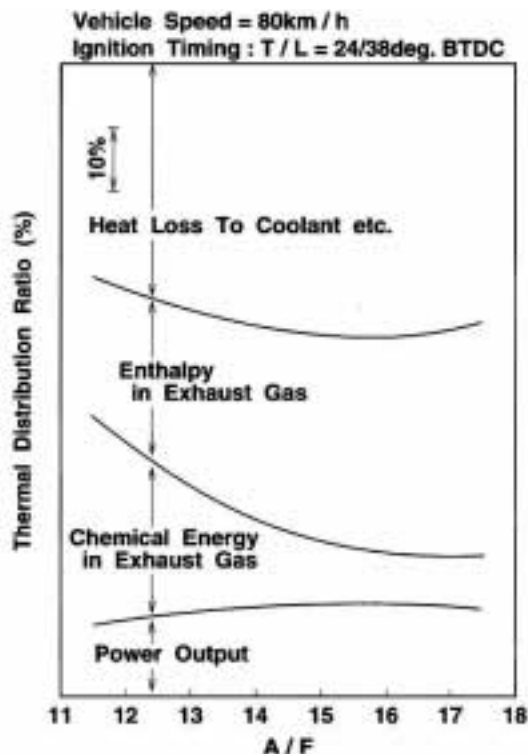


Fig.1 Thermal Distribution of RE

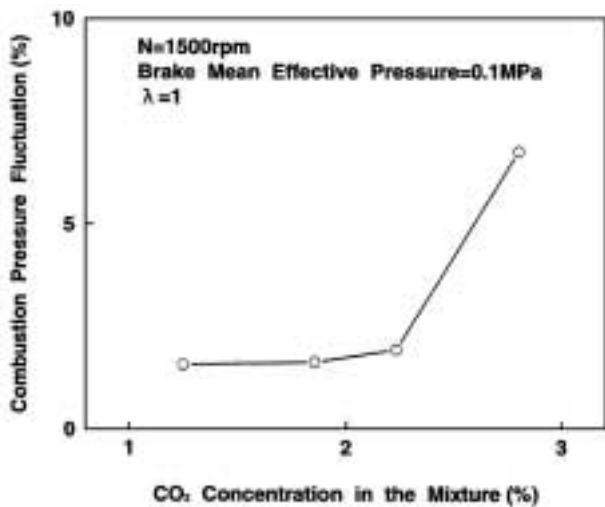


Fig.2 Relationship Between CO₂ Concentration in the Mixture and Combustion Pressure Fluctuation

適化，二次エアによる内部EGR置換，吸・排気ポートタイミング最適化，燃料微粒化，点火能力向上などといった様々な面から取り組んできた。

Fig.2に燃焼室内CO₂濃度（内部EGR割合の代用特性）と燃焼圧力変動の関係を示す。燃焼圧力変動は、各サイクルの最高燃焼圧力の平均に対する圧力のバラツキ割合を標準偏差で表したものである。内部EGRの低減とともに燃焼が安定していることが判る。

排気上死点付近での排気クローズ（以下EC）と，吸・排気のオーバーラップを無くすことで内部EGRを低減し燃焼安定性は改善できる。しかし，ペリフェラル排気ポ-

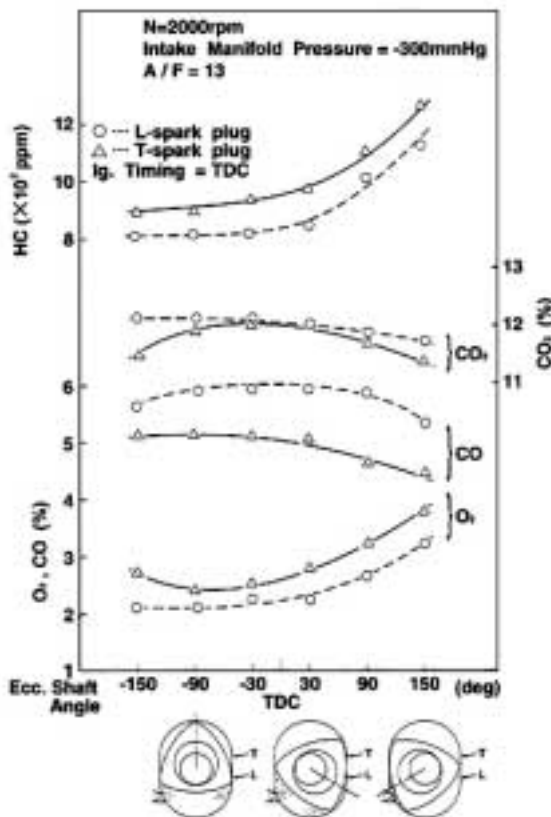


Fig.3 Concentration of Exhaust Composition at Different Rotor Angles

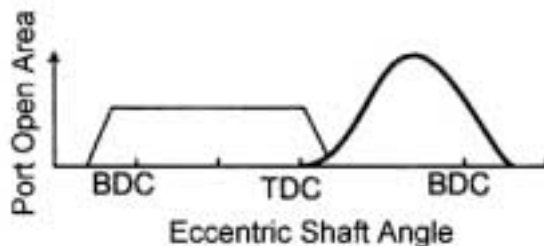


Fig.4 Port-open Area (Peripheral Exhaust Port)

トでは構造上，ECは上死点後にしか設定することが出来ない。

2.2 排気ガスエミッション

REの場合，排気ガス中にNO_xが少なく，HCの排出量が多い特徴がある。Fig.3に各ロータ姿勢に対する各成分の排出量を示す。特に，燃焼室トレーリング側部分が排気ポートに近づいたときにHCの排出量が急増している。同時にO₂量も急増し，CO₂量が減少していることから，排気オープン・クローズのタイミングの最適化で，排出ガスエミッションが改善できることが分かる。

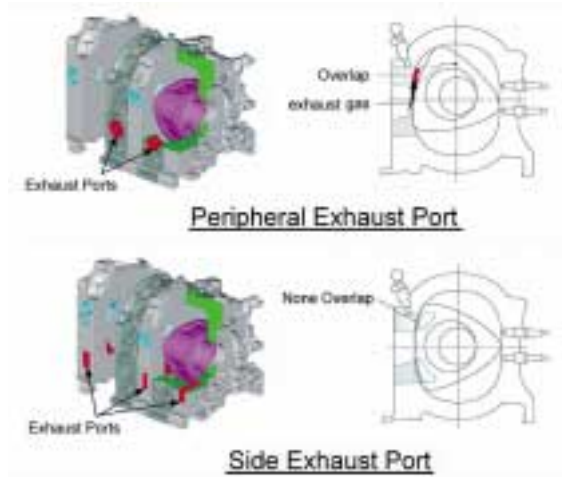


Fig.5 Exhaust Port

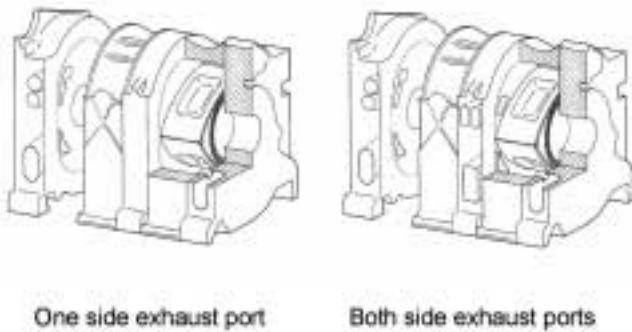


Fig.6 Side Exhaust Port



Fig.7 Exhaust Port Insert

2.3 出力

ペリフェラル排気ポートの場合、大幅な出力向上を実現するためには、吸排気ポートのオーバーラップをさらに拡大させる方向に排気ポートを広げざるを得ず、そうなると先述の安定性が悪化し、出力と両立しない。この解決が課題であった (Fig.4)。

3. サイド排気ポートへの転換

3.1 サイド排気ポートの課題

これまで述べたことから、燃費・排出ガスエミッション・高出力・低負荷燃焼安定性の両立を図るためのブレイ

クスルー技術は、「吸排気ポートタイミングの設定自由度を上げる」ことにあることが分かる。その技術としてサイド排気ポートがあるが、その採用には過去のサイド排気ポート開発での課題を克服しなければならなかった。

3.2 サイド排気の基本概念

Fig.5に示すようにサイド排気ポートは、サイドハウジングに排気ポートが開いているため、排気タイミングの設定時自由度が高く、ECを上死点付近に設定できるため、同じサイドハウジングに設定した吸気ポートとオーバーラップを回避することができる。

4. サイド排気ポートの課題克服

4.1 排気ポート面積の拡大

従来の量産型REは、排気ポートをロータ毎に1個トロコイドハウジングに設置していた。一方、サイド排気ポートは、排気ポート面積をさらに拡大するため、排気ポートをロータ毎に1個設けた片排気ポート方式から、ロータ毎に2個という両排気ポート方式に変更した (Fig.6)。その結果、排気ポート面積はペリフェラル排気ポートのほぼ2倍となり、排気抵抗が大幅に低減されている。これは、インターミディエイトハウジングに排気ポートを追加設置するため、小型でしかも2つの通路を仕切る排気ポートインサートの開発の結果である (Fig.7)。

4.2 吸排気ポートの最適化

次に、サイド排気ポートの性能を引き出し、かつ信頼性を高めるために最も重要な役割を果たしたガスシールの開発について述べる (Fig.8)。

(1) サイドシール

サイドシールは1970年頃の二重タイプ以降、シール性能が改善し、一重タイプに変更されていた。その上で、サイドシールをロータ外周部に2mm張り出した位置にすることで、ECを排気上死点付近 ($EC = BTDC3^\circ$) に設定可能とした。合わせて吸気オープンタイミングを早くできるようになり ($IO = ATDC3^\circ$)、吸気ポート面積を約30%拡大できた (Fig.9)。また、排気ポートに開口するサイドシールをカーボン付着から回避させるために、キーストーンタイプの断面形状を採用した。

(2) アベックスシール

従来3分割タイプであったアベックスシールは、吸排気ポートが上死点付近まで開口すると、下側のピースが吸排気ポートに脱落するため廃止した。結果としてシール自体の軽量化となり、高速域でのシール挙動が安定しガスシール性が向上した。

(3) コーナシール

コーナシール中央のゴム製のプラグが排気ポートに開口し焼損するため鋳鉄製に変更し、かつ排気ポートでの潤滑切れ対策として、高硬度のコーティングを施した。

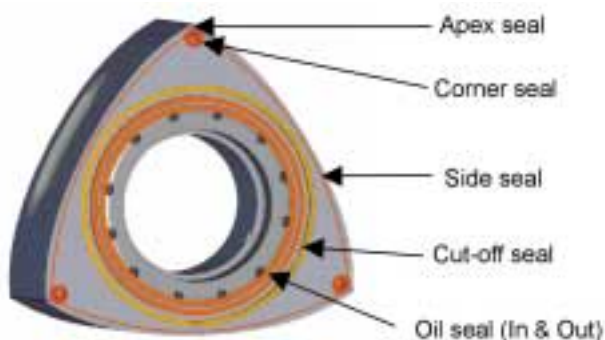


Fig.8 Gas Seal & Oil Seal

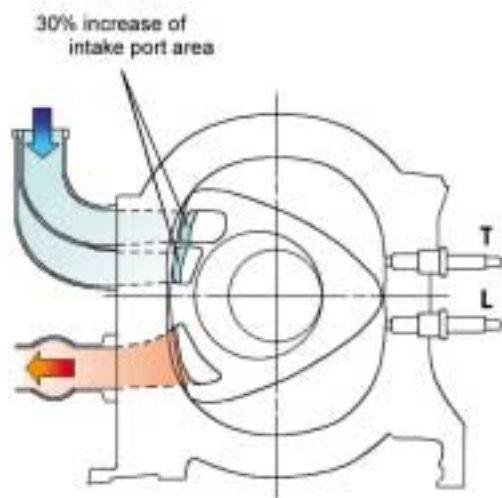


Fig.9 Increase of Intake Port Area

(4) カットオフシール

上記ガスシールの改良により、吸排気ポートタイミングを上死点付近に設定し、オーバーラップも無いタイミングに設定できるようになったが、ロータ側面を介して、吸排気が連通し、内部EGRの低減ができない。そのため、実質的なオーバーラップゼロを実現するためにロータ側面にピストンリング形状のカットオフシールを新設した。


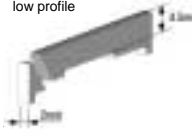
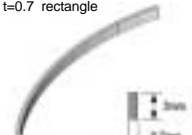


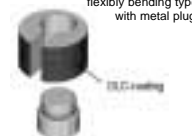

(5) オイルシール

二重オイルシールは、REの高性能化に伴いOut側はシリコンゴムから高耐熱性のフッ素を採用していたが、サイド排気ポートではサイド面の熱負荷の上昇に伴い、In側もフッ素とした。

4.3 排気ポートのカーボン詰まり解消

潤滑用オイルを作動室内に供給するため、1970年当時は吸気ポートからオイルを供給する方式であった。この場合オイルがガスシールのしゅう動面に供給される割合が低く、相対的にオイル供給量が多くなり、排気ポートのカーボン詰まりの原因となっていた。しかし、その後のREは、オイル供給量低減のため、トロコイド面に直接オイルを供給するダイレクト方式を開発し、またオイルポンプをステップモータで制御するなど、大幅な進化をとげ、供給量は

Table1 Specification of Seals

Parts name	Peripheral Exhaust Port	Side Exhaust Port
Apex Seal	Apex seal of 3 pieces  material : chilled cast iron	Apex seal of 2 pieces low profile  material : chilled cast iron
Side Seal	t=0.7 rectangle  material : sintered alloy (iron based)	t=1.2 keystone  material : sintered alloy (iron based)
Corner Seal	flexibly bending type with rubber plug  material : cast iron + Cr-plating	flexibly bending type with metal plug  material : cast iron + Cr-plating + DLC-coating
Cut-Off Seal		Tapered expansion ring  material : spheroidal graphite cast iron
Oil Seal	material : boron cast iron + Cr-plating (internal circumference) with silicon rubber O-ring (inner)	material : boron cast iron + parcel Cr-plating (internal circumference) with fluorocarbon rubber O-ring (inner)

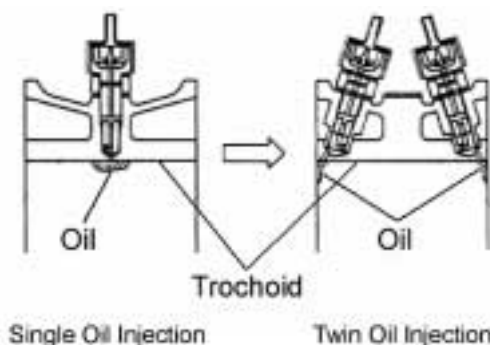


Fig.10 Direct Oil Injection

1/10以下にまでなっていた。また、排気ポート側のサイドシールやコーナシールの潤滑性を高めるため、ツインダイレクト方式を開発した (Fig.10)。これらの技術により、排気ポートのカーボン詰まりは解消された。

5. 基本性能

従来のペリフェラル排気ポートをサイド排気ポートにし、性能の最適バランスをとった結果、次のような性能改善が得られた。

5.1 燃費

EOをペリフェラル排気ポートのBBDC72 °からBBDC

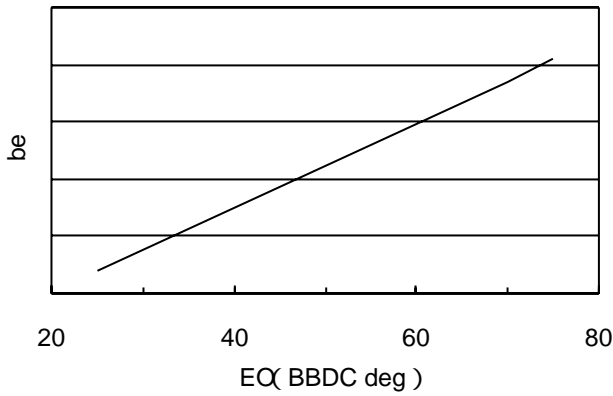


Fig.11 Relation between Exhaust-open and be

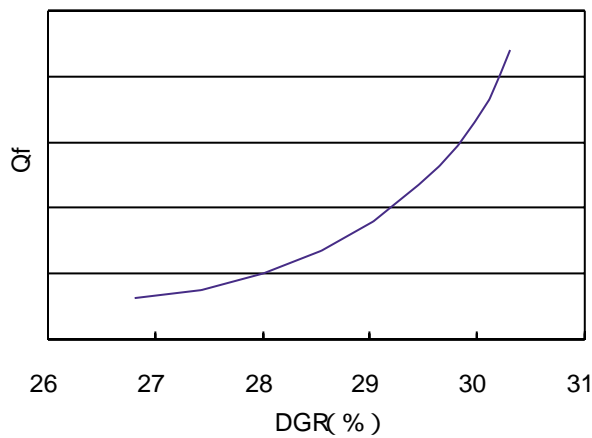


Fig.12 Relation between DGR and Qf

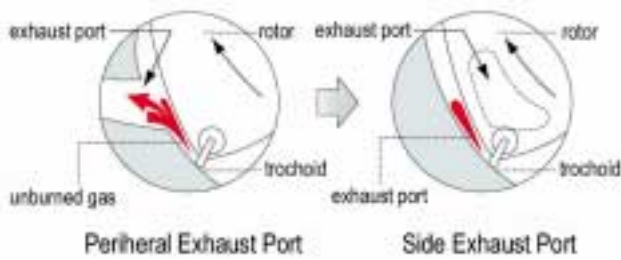


Fig.13 Unburned Gas

50°にすることで、膨張行程期間が198°から220°まで延びるため、熱効率の向上が図れる (Fig.11)。

また、吸排気ポートのオーバーラップが無くなり内部EGR (吸気への排気持ち込み割合) が減少し、ID燃焼が安定する (Fig.12)。その結果、従来REでは必須であった機械式エアポンプを廃止し、常用運転域で行っていた燃料増量を止め、理論空燃比で運転することで、燃料消費量を大幅に低減することができ、燃料の制御性も向上した。

5.2 排出ガスエミッション

ペリフェラル排気ポートからサイド排気ポートに変更す

ることで、排気行程後半のHC濃度上昇が減少し、HC総量が減少する (Fig.13)。

5.3 出力

セカンダリ吸気側に制御バルブで開閉するオギジュアリポートを設置し、2ロータで計6つの吸気ポートを持つ6ポートインダクションシステムを採用した (Fig.14)。プライマリ+セカンダリ+オギジュアリポートの3つの吸気ポートを開くことで、Fig.15に示す吸気ポート面積プロフィールを実現した。さらに両側排気とすることで排気抵抗を低減し75PSの出力向上を、さらに実排気クローズタイミングを遅らせるため、ロータの排気クローズを行う角度をカットする構造 (フランクカット) で15PSの出力向上を図ることができた (Fig.16)。

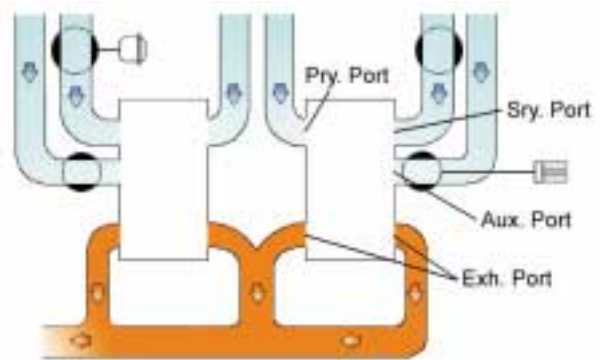


Fig.14 6-Port Induction System

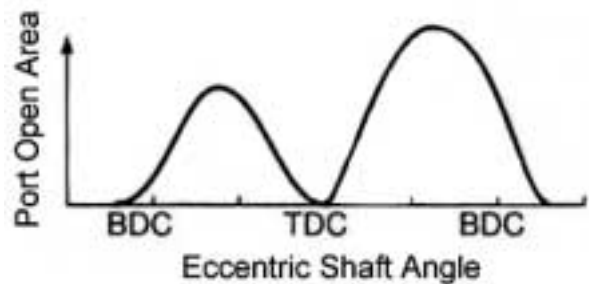


Fig.15 Port Open Area (Side Exhaust Port)

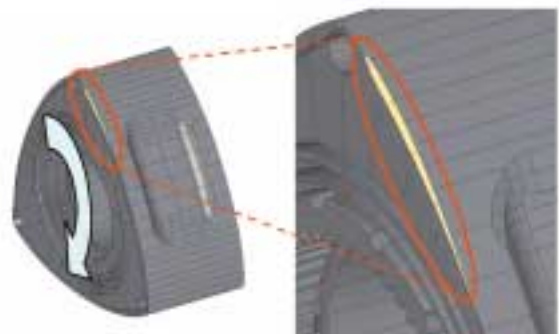


Fig.16 Flank Cut

5.4 重量・コスト・部品点数

Table 2 に、ペリフェラル排気ポートREとサイド排気ポートREの比較を示す。サイド排気ポートはペリフェラル排気ポートに比べ、自然吸気化による部品点数の減少、部品の軽量化等により、質量で24%、部品数30%の削減を達成している。

Table 2 Comparison of Exhaust Port

	Peripheral Exhaust Port (with Turbocharger)	Side Exhaust Port
Weight	163kg	124kg
Number of Parts (Ratio)	1.0	0.7

著者



田島誠司



清水律治



小藤秀明



海老野弘



岡崎俊基



植木信也

6. おわりに

ロータリエンジンは35年間継続して採用してきたペリフェラル排気ポート方式から、全く新しいサイド排気ポート方式に変更することにより、革新的な飛躍を成し遂げ、燃費・排出ガスエミッション・高出力・低負荷燃焼安定性の両立を図ることが出来た。従来の方式を根本から変革したこの開発は、エンジニアにとって大きな挑戦であった。しかし、環境に貢献しつつ走る喜びを提供できる最高のエンジンをお客様に提供するために、あくなき挑戦を続け、実現することができた。

今後も他社に真似ることのできない、独自の魅力あるエンジンを開発することで、お客様に感動を提供し続けていきたい。

参考文献

- (1) Shimizu et al. "The Characteristics of Fuel Consumption And Exhaust Emissions of the Side Exhaust Port Rotary Engine", SAE Technical Paper (1995)
- (2) Muroki, T. et al., "Unburned Hydrocarbon Emissions of Wankel Type Rotary Piston Engines (1st, 2nd Report)" JSME Vol.53 No.485B (1987)

特集：ロータリエンジン

4

ロータリ・フィーリング / 「走りの楽しみ」 Rotary Feeling / “Fun to Drive”

山下 修*¹ 渡辺 洋史*² 今西 秀樹*³
Osamu Yamashita Youji Watanabe Hideki Imanishi
大槻 健*⁴ 西村 一明*⁵
Ken Ohtsuki Kazuaki Nishimura

要 約

新開発ロータリエンジン『RENESIS』とそれを搭載した『RX-8』は、従来にない新しい「走りの楽しみ」を実現するため、ロータリエンジンが持つ特性を最大限に生かした、スポーツカーにふさわしい、より魅力的なロータリ・フィーリング実現を目標とした。

それはNAのロータリをベースに①「レスポンス」：加速応答の速さ、②「伸び感」：低中速域と高速域での加速のバランス、③「エンジンサウンド」：静粛性とリニアな加速サウンドの両立、という視点から各項を深く追求することで、新しいロータリ・フィーリングの世界を創りえた。

Summary

A newly developed “RENESIS” rotary engine and a vehicle “RX-8” equipped with the engine have realized a more appealing rotary feel only a true sports car can give by making the most of the intrinsic benefits of the rotary engine, which had been aimed at in order to offer new “fun to drive”.

Based on a naturally aspired rotary engine, RX-8 has explored: ① Response - quick acceleration response, ② Feel of smooth rpm rise - good acceleration balance between low-to mid. and high engine speeds, and ③ Engine sound - balanced quietness and linear acceleration sound, thus having created the world of a new rotary feel.

1. はじめに

マツダは1967年に世界に先駆けてロータリエンジン（以下RE）を搭載したコスモスポーツを発売した。それ以来、「アクセルを踏み込むとモーターのようになめらかに吹け上がる」いわゆるロータリ・フィーリング（以下REフィール）は、多くのロータリ・ファンに親しまれてきた。

新エンジン『RENESIS』、そして『RX-8』の開発にあたり、REが持つ特性を最大限に生かした、スポーツカーにふさわしい、より魅力的なREフィールを創り込んできたので、以下にその概要を紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 スポーツカーに求められるもの

スポーツカーは高出力で速く走れることは当然として、

街乗りでもワインディングでも楽しく走れることが重要である。そこで、「走りの楽しさ」とは何かを具体化するため、RX-8開発の前段階に、RENESIS先行開発車・競合他車の試乗評価も含め検討を行った。その結果、「走りの楽しさ」を提供するためには、①アクセルレスポンス、②伸び感、③エンジンサウンドが重要であることが明らかになった。そしてこれらの性能は、高度なドライブテクニックを持ち合わせていない一般ドライバーにも、「走りの楽しさ」を提供できるものであると判った。

すなわち、①アクセルレスポンスが良いと、意思通りにパワーが発生し、「ドライバーはパワーコントロールが容易になり、要求どおりに車が反応してくれると感じる。」更に、②伸び感が良いとは、高い回転域までトルクがフラットということで、幅広い回転域のどこからでも同じようなトルクが発生するため、「ドライバーは必要なパワーをどん

* 1, 4 第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3
* 5 第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2

* 2 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

* 3 NVH性能開発部
NVH Development Dept.

な場面でも意のままに得ることができ、ギアチェンジの煩わしさもなく、伸びやかな加速を楽しめる。」更に、③エンジンサウンドがエンジン回転数の変化やアクセルにตอบสนองして気持ちよく聞こえると、「ドライバーは自分のコントロールを体で感じる加速度に加えて、耳からも走りのフィールをフィードバックし、走りの楽しさを増幅して実感できる」のである。

2.2 RENESISの開発方針

前述のスポーツカーに求められる基本要件に加えて、REならではのフィーリングをお客様に楽しんでいただくための研究も行ってきた。回転運動が主体のREが醸し出すREフィールとは (i) ストレスのない圧倒的な伸び感 (ii) 独特の澄んだサウンドが特徴である。また、往復運動がなくエンジンイナーシャも比較的小さいことから (iii) アクセルレスポンスにも有利である。

つまり、REフィールは「走りの楽しさ」そのものであり、新エンジンRENESISの開発にあたり、REが本来持つ3つの優れた特性を更に進化させることを最も重視し、その実現に適したNA (Natural Aspiration : 自然吸気) エンジンを採用した。

2.3 RX-8の開発目標

以上の検討結果とRENESISが持つ、優れたエンジン特性を踏まえ、RX-8では「絶対的な速さ」に加え「走りの楽しさ」とのバランスを重視した (Fig.1)

そして、「走りの楽しさ」を演出する「レスポンス」「伸び感」「エンジンサウンド」においてベストインクラスを達成することで、他社には真似できないオンリーワンのスポーツカー造りに貢献することを目指した。

(1) アクセルレスポンスの目標設定

アクセルレスポンスの目標は、官能評価と相関の高い、(a)アクセルを踏んでから加速度が上がり始めるまでの時間と(b)加速度の高さで定量的に設定した (Fig.2)

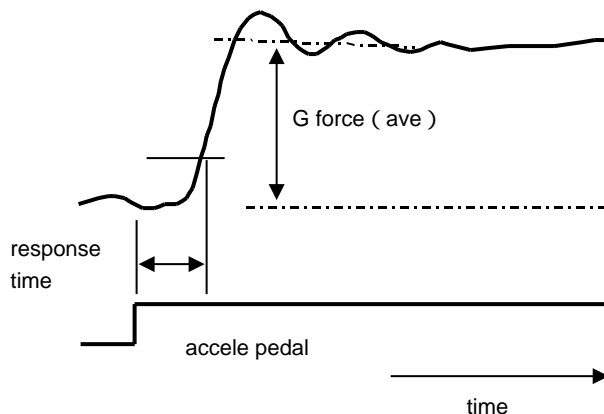


Fig.2 Response of Acceleration

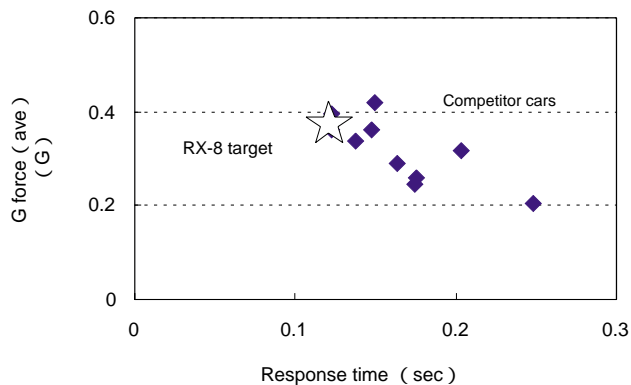


Fig.3 Target of Response

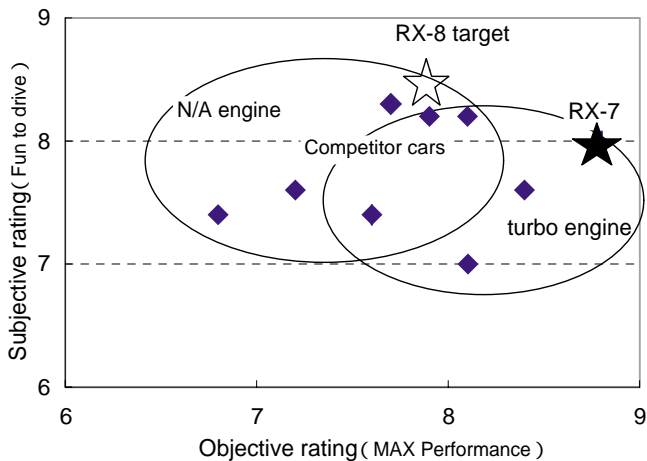


Fig.1 Target of Acceleration Performance

RX-8では、(a)の時間をベストインクラス、(b)の加速度の高さをクラストップレベルにすることで、トータルでベストインクラスを達成することを目指した (Fig.3)

(2) 伸び感の目標設定

伸び感の目標は、低中速域の加速度×車速区間の面積B (= 加速感評価指標) と高速域の加速度×車速区間の面積Aとの比率(面積A / 面積B)で定量的に設定した (Fig.4) 面積Bは大きいほど加速感が良いが伸び感は悪化し、面積Aは大きければ大きいほど伸び感が良いということで、面積Bと面積Aのバランスにより、加速感と伸び感は決定づけられる。

RX-8では、低中速の加速感 (= 面積B) をNA群のベストインクラスとした上で、伸び感(面積A / 面積B) もベストインクラスを達成することを目指した (Fig.5)

(3) エンジンサウンドの目標設定

エンジンサウンドは、他社にないREのアドバンテージを最大限に生かして、①エンジン回転に対してリニアに②

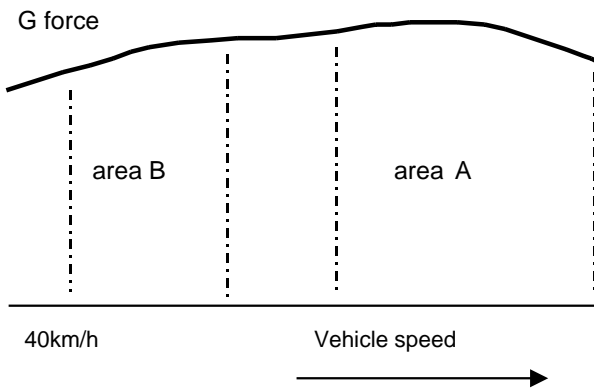


Fig.4 Expansion and Acceleration Feel

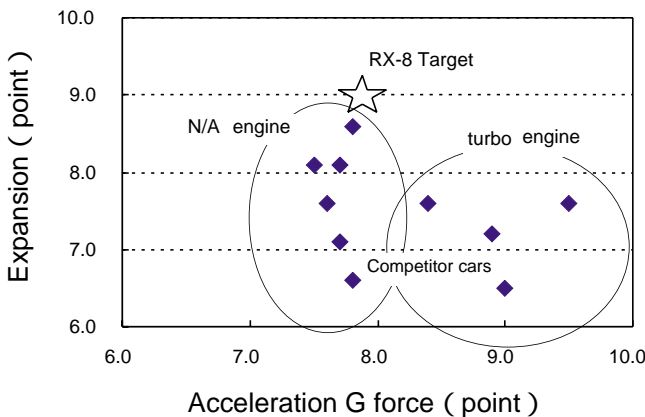


Fig.5 Target of Expansion and Acceleration Feel

アクセル操作に連動して③独特の澄んだサウンドを出すことで、走りを更に官能的に演出することを狙い、トータルでベストインクラスを達成することを目標にした。

エンジンサウンドの目標設定は、サウンドシミュレータを用いてRX-7のサウンドを加工し、RX-8にふさわしいさらに伸びやかでスポーティーなサウンドを創り出すことによって行った。これを指標化し、実車で目標達成するためのシステムやハードメニューを開発していった。

3. 実車開発でのREフィール育成

3.1 アクセルレスポンスの改善

開発育成段階においてこの高いレスポンス性能目標を達成するため、エンジンだけでなくPT伝達系など他の領域も含めた性能向上を図っている。結果、目標どおり高いレベルの性能の実現ができています。

PT伝達系の取り組みについては『Performance Feel』

(走り感)育成』の論文で述べ、本項ではエンジンについて説明する。

エンジンのレスポンス改善技術としては、回転系の慣性量低減と燃料制御性能の改善がある。

まず回転系の慣性力は、ロータの軽量化とフライホイールの軽量化で、合計12%低減した。

また燃料制御は、燃料噴射インジェクターを12噴孔方式にして燃料の微粒化を改善した上で、PCM (Powertrain Control Module) の32Bit化で演算速度をRX-7比約5倍アップさせた。

その結果をFig.6に示すが、RX-7に対して、早く加速Gが立ち、最大加速Gも高くなった。

3.2 伸び感の改善

エンジン出力特性をフラットトルクにし、高回転域のTopエンドまで高いトルクを発生させるため、サイド排気と新開発吸気系のS-DAISを開発したことで、中速域以降、高い加速Gを連続させることができた。

2ndギヤ段で発生G特性を競合車と比較した特性図をFig.7に示す。低回転域から高回転域まで滑らかで高いGの特性となっていることがわかる。

これは、当初狙っていた加速と伸びの評価点がトップクラスになったことを示した。

これらREフィールとして重要視している、レスポンスと伸びについて競合車と比較すると、競合比で優れた性能に仕上がっていることがわかる (Fig.8)。

3.3 REサウンドの創り込み

(1) 改善の考え方

REは基本的に回転運動がメインであるため、レシプロエンジンで発生するようなハーフ次の振動成分が発生しない。そのため、ガー、ゴロゴロという濁った音は発生せず、他車にない独自の澄んだサウンドを発生することが特長である (Fig.9)。

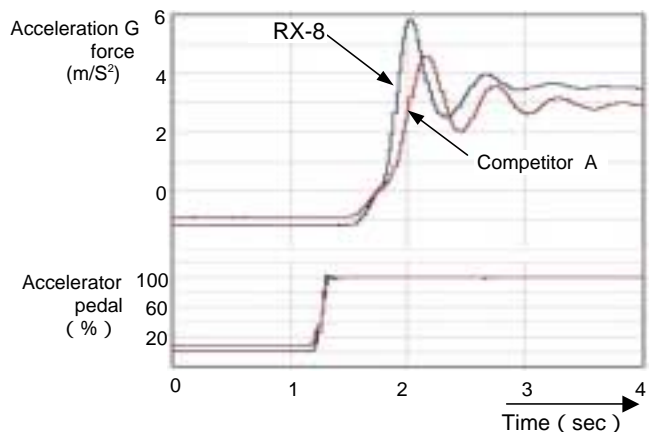


Fig.6 RX-8 Response Characteristic

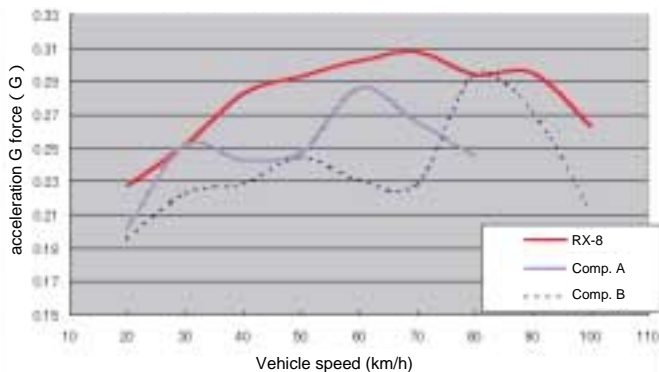


Fig.7 RX-8 Acceleration G Characteristic

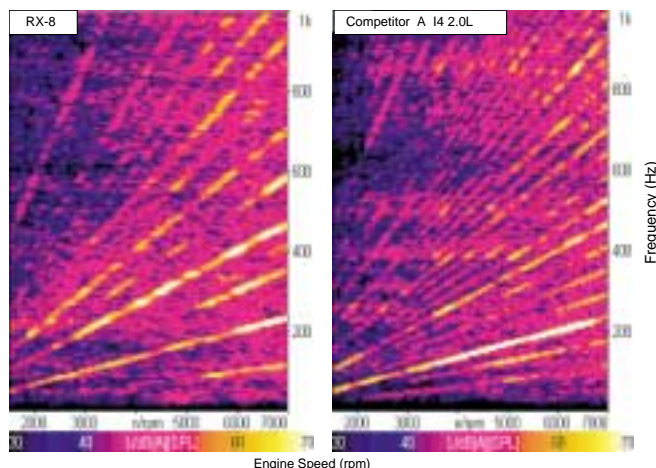


Fig.9 Characteristic of RE Sound

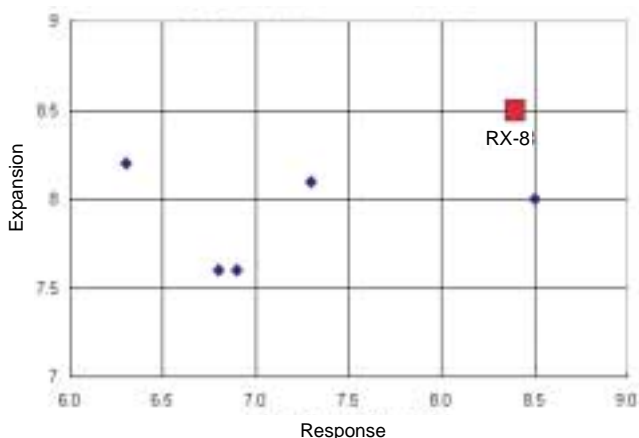


Fig.8 RX-8 Expansion vs Response Feel

RX-8では、これに加え、サイド排気NAの採用によって、従来のペリ排気比高周波成分が低減できることと回転上昇に対してリニアな音圧上昇が得られるというスポーツカーにふさわしいサウンドを得ることができた。

これをベースに、伸び感向上のために必要な基本次数成分(2次, 4次, 6次)を吸気音及び排気音で演出し、心地よいREサウンドをさらに際立たせている。

(2) エンジン本体の改善

動弁系を持たないREは、レシプロエンジンに比べ機械騒音が低いため (Fig.10), エンジンサウンドがアクセル開度に対してリニアな特徴を持つ。RENEISISの開発にあたり、この特徴をさらに特化させるため、ロータとカウンタウエイトの重量バランスを高回転まで保証できる設計を行い、エキセントリックシャフトの曲げ振動を抑制した (Fig.11)

その結果RX-8は、低回転~高回転までアクセル開度に対しリニアリティの高いエンジンサウンドを実現できた。

(3) 吸排気系の改善

吸気系については、吸気抵抗を低減するために大容量エアクリーナ・大口径フレッシュエアダクトを採用し、エアクリーナの高剛性化, CTダクトの採用等で不要な中高周波ノイズを徹底して軽減している。またRENEISISで新開発した高出力化のための吸気切替機構については、吸気音がエンジン回転上昇に応じて、リニアに変化するよう、レゾネータと吸気切替弁の作動特性をチューニングした。排気系については、大容量のメインサイレンサを採用し、超低抵抗を実現しながら吸音材、パイプ長の最適化で心地よいサウンドのみを聞かせるよう創り込みを行った (Fig.12)。

(4) 車両系の改善

一方、車両領域では、これらの音をさらに熟成するために軽量の吸音材の配置を適正に行い、スポーツカーとしてふさわしい遮音性能を実現している。これによって、定常走行時は静粛で、加速時には迫力のある音量の心地よいサウンドが楽しめるようになっている。

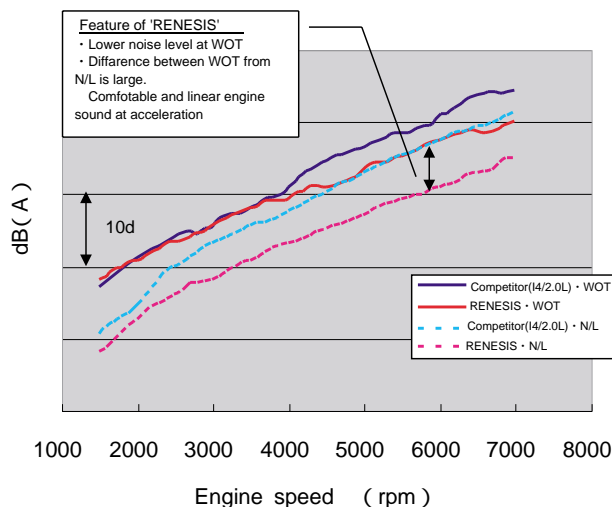


Fig.10 Engine Radiated Noise(RENEISIS vs Competitor)

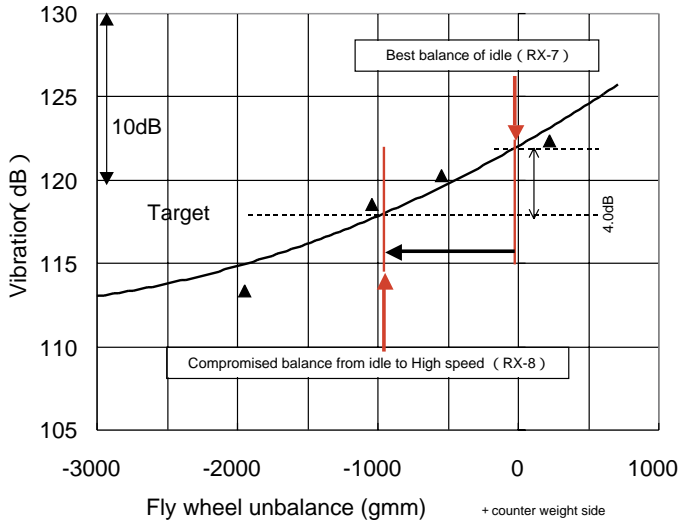


Fig.11 Correlation between Engine 1st Order Vibration and Fly Wheel Unbalance (6,000rpm)

著者



山下 修



渡辺洋史



今西秀樹



大槻 健



西村一明



Fig.12 S-DAIS (Sequential Dynamic Air Intake System)

4. おわりに

RX-8は、新しいジャンルを開拓するために創られたスポーツカーである。その心臓部であるエンジンは、新しいジャンルのスポーツカーにふさわしい「走りの楽しみ」を創造する使命があった。その結論がロータリ・フィーリングである。従来からのロータリ・ファンの方にはもちろんのこと、初めてのお客様へも、レシプロエンジンでは為し得ない異次元のすばらしい新生ロータリ・フィーリングを、楽しんでいただきたいと願っている。

今後の開発においても、お客様の声に耳を傾けながら、より高い次元の「走りの楽しみ」を実現し、お客様に感動を提供して行きたい。

特集：ロータリエンジン

5

新開発RENESISのエミッション低減技術 Emission Reduction Technology in Newly Developed RENESIS

徳田 祥治*¹ 清水 良*² 丹羽 靖*³
Shoji Tokuda Ryuu Shimizu Yasushi Niwa
世良 久*⁴ 森本 政博*⁵ 重津 雅彦*⁶
Hisashi Sera Masahiro Morimoto Masahiko Shigetsu

要 約

RX-8は、『4ドアスポーツ』という全く新しいコンセプトを具現化した車である。その心臓ともいべきロータリエンジンは、高い走行性能とクリーンな環境性能を高い次元で両立させている。その実現には、サイド排気化による本体の改善のみならず、2次エア、キャタリスト等の周辺技術も大きく貢献している。また、エバポエミッションにおいても、スポーツカー初のLEV-II Evapo規制に適應する等、革新的な進歩を遂げている。本稿ではこれらの革新的な技術について紹介する。

Summary

RX-8 is a car which embodying a completely new concept, "4-door sports car". The rotary engine, we should tell the heart of RX-8, has made high dynamic performance compatible with clean environment efficiency in a high order. The peripheral technologies of the secondary air, catalyst and so on in addition to the improvement of internal system by the side exhaust technology also have made a significant contribution to the realization. Also, it has achieved innovative improvements such as adaptability to the LEV-II Evapo. regulation which is the first for sports cars in evaporative emission as well. This paper introduces these innovative technologies.

1. はじめに

21世紀は環境の時代である。時代のニーズに答えるべく、新開発のロータリエンジンであるRENESISでは、数多くのエミッション（以下EMと略す）低減技術を導入した。その結果、EUのEuro 4に代表される高いレベルのEM規制への適合が可能になった。以下にその主要な技術の紹介を行う。

2. RENESISのEM低減コンセプト

EMにはテールEMとエバポEMがある。

テールEM（ここでは排出ガス中のHC, CO, NOxを指す）については、サイド排気ポート化⁽¹⁾（エンジン本体でのEM低減）+ 2次エア反応 + 高性能キャタリスト + 高精度A/F制御というコンセプトで、大幅なEM低減を実現

した。サイド排気ポート化については『サイド排気ポート方式ロータリエンジンの概要』で述べる。

エバポEM（ここでは車両全体からの蒸発HCを指す）については、HC発生量低減 + 燃料温度低減 + 大容量キャニスタ + 高精度パージ制御というコンセプトで、大幅なEM低減を実現した。

3. テールEM低減技術

3.1 2次エア反応システム

(1) 排気ポートインサート

排気ポートにロストワックス鑄造によるステンレス製の薄肉ポートインサートを設定することで、冷間始動時の排出ガスの保温を図っている。これにより、EUのCEDモード走行中のキャタリスト前ガス温を約40 上昇させ、排出ガス浄化性能を高めることができた。

* 1 ~ 3 第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2
* 6 技術研究所
Technical Research Center

* 4 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

* 5 ボデー開発部
Body Development Dept.

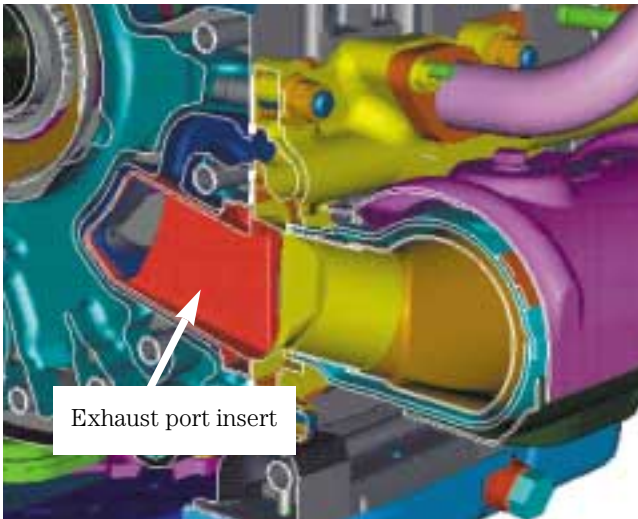


Fig.1 Exhaust Port Insert

また、ポートインサートとポートの間隙から2次エアをポート全周に導入することにより、排出ガスと2次エアのミキシングを改善して、2次エア反応を促進させ、効率よくカタリストを活性温度に制御できるようにした (Fig.1)

(2) 2重構造エキゾーストマニホールド

エキゾーストマニホールドを断熱のための空気層と熱容量の小さい薄肉内管を持つ2重構造にすることで、冷間始動時の排出ガスの保温を図っている。これにより、USAのLA-4モード走行中のカタリスト前ガス温を約100 上昇させることができた。

薄肉内管には4箇所のスライド機構部を設けることで、温間時における外管との熱膨張量の差を吸収する構造としている。更に、2重構造の外側に3層構造のインシュレータを設けて、NVHや耐久性にも配慮した構造としている (Fig.2)

(3) 電動エアポンプ

RENEISISでは燃費改善のために、電動式のエアポンプを採用している。冷間始動時に電動エアポンプによる2次

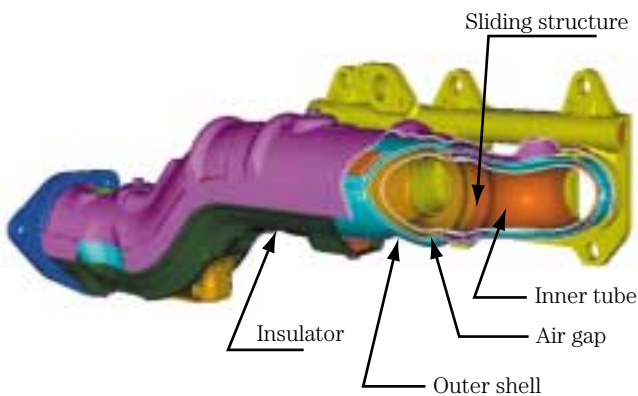


Fig.2 Dual Structure Exhaust Manifold

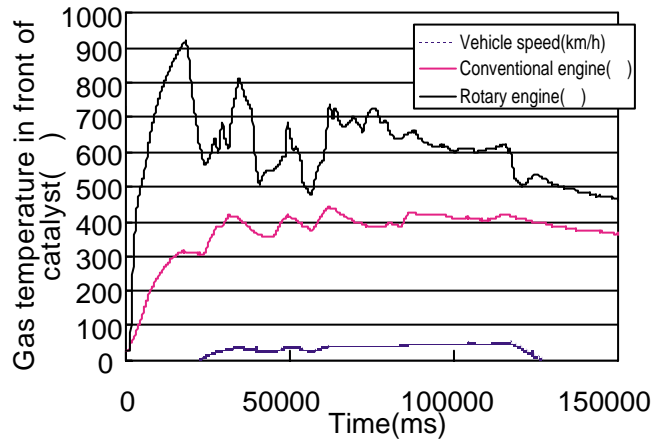


Fig.3 Gas Temperature in Front of Catalyst

エア導入を行うことで、エキゾーストマニホールド内での2次反応を促進して、カタリスト前ガス温を上昇させ、冷間時のカタリスト浄化性能を向上させている。これにより、USAのLA-4モード中のカタリスト前ガス温を、始動後17secで900 にまで上昇させており、冷間時のカタリストのウォームアップ性能を改善している (Fig.3)

電動エアポンプは、最大流量800 L/min以上の大流量遠心式タイプを採用しており、静粛性にも優れている。電動エアポンプ下流には、エアポンプが作動しない時の排出ガスの吹き返しを防止するためにチェックバルブを設けており、耐久性にも配慮したシステムとなっている。

3.2 高性能カタリスト

カタリストは、新開発のプラチナ-パラジウム-ロジウム系触媒を採用した。この新触媒と薄壁セラミック担体との組み合わせ技術で、ウォームアップ改善と抵抗低減を両立させ、従来のカタリストに比べて少ない貴金属使用量で、ライトオフ性能を改善し、冷間時の低温度域から高い浄化性能を確保することができた (Fig.4)

カタリスト仕様は1コンテナ2ベッドの大径ラウンド

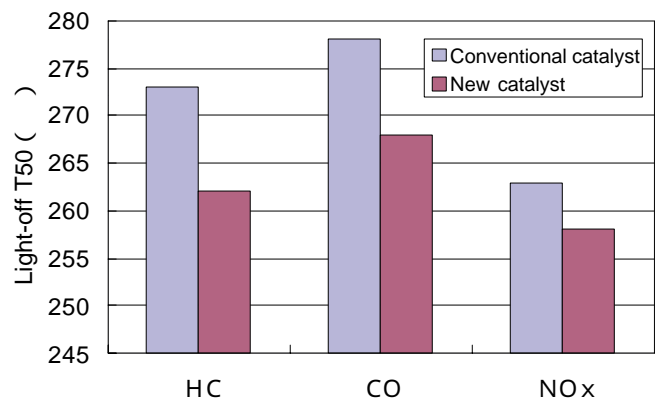


Fig.4 Light-off Temperature

断面タイプで、入口コーン形状をロングベルマウス形状として、キャタリスト入口部分を滑らかに拡張することで、モノリス全体に排出ガスが均一に当たるように配慮した。このキャタリストをエキゾーストマニホールド直下に配置することで、冷間始動直後のEMと耐久劣化を大幅に改善することができた。

3.3 高精度A/F制御

キャタリストの高い浄化性能を確保するために、吸入空気量計量システムとデュアルO₂センサシステムを採用した (Fig.5)。

吸入空気量計量システムは、熱式プラグインタイプのエアフローセンサにより質量流量の計量を行い、32ビット Powertrain Control Module (以下PCM) での演算により、最適な燃料噴射を行うようにした。燃料噴射を行うインジェクタは各ロータ3本ずつの計6本とし、低回転では各ロータ1本噴射で、回転数が上昇するに従って3本噴射に移行するシステムとした。これにより、低回転域の燃焼効率改善と高回転域の出力改善の両立が可能になった。

デュアルO₂センサシステムは、フロントをリニアO₂センサ、リアをO₂センサとし、それぞれキャタのフロントベッド前後に配置するシステムとした。フロントO₂センサは広範囲のA/F計測データを基に短期的なフィードバック制御をし、それにリアO₂センサによる長期的な補正値を加えるという2重ループ制御とした。これにより、EMモード中のA/F変動が格段に改善されたため、全運転領域においてキャタリストの高い浄化性能を確保することが可能になった。

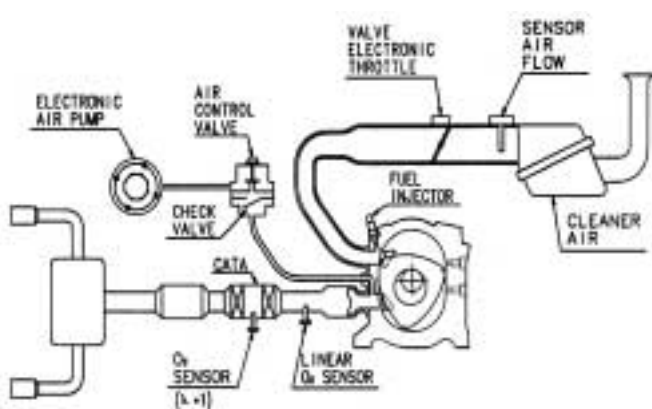


Fig.5 EM System

Japan	E-LEV
USA	LEV-II (LEV)
EU	Euro4

Fig.6 Tail EM Regulation Conformity

3.4 各国テールEM規制への適応

以上の技術を基に、PCMキャリブレーションを行い、主要各国のEM規制に適合させた。特にEUにおいては、Euro4規制の先取りを行うことで、環境対応の先進性をアピールしている (Fig.6)。

4. エバポEM低減技術

4.1 HC発生量低減

(1) 低透過材質ホース及びクイックコネクタ

燃料系からのHC発生が懸念されるため、ホースには低透過材質であるナイロン系3層チューブを採用し、接合部分にはクイックコネクタを採用した。クイックコネクタは、内部のフッ素ゴムのOリングにより完全シールを行うタイプである。これらにより、燃料系からのHC発生を大幅に低減することができた (Fig.7)。

(2) インジェクタの低油密管理

インジェクタ先端からの燃料にじみによるHC発生を低減するため、従来の油密管理値の半分程度の低油密管理を実施した。インジェクタ油密と発生HCは相関が高いため、低油密管理により、インジェクタ先端からのHC発生量を大幅に低減することができた (Fig.8)。

(3) 4種6層構造プラスチックタンク

RX-8は軽量化のためにプラスチック燃料タンクを採用している。プラスチックは鉄に比べてHCを透過しやすい性質を持っているため、鉄タンクと同等以上のHC透過性能を確保するために、中央のバリア層を上下のプラスチック層で挟み込むという4種6層構造を採用した。

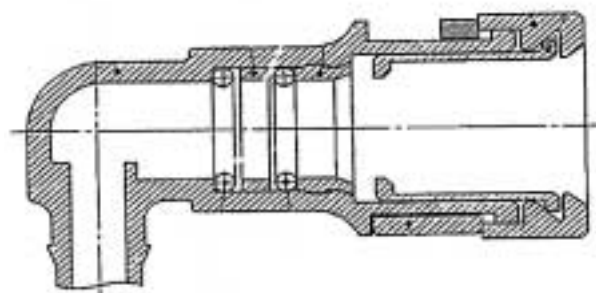


Fig.7 Quick Connector

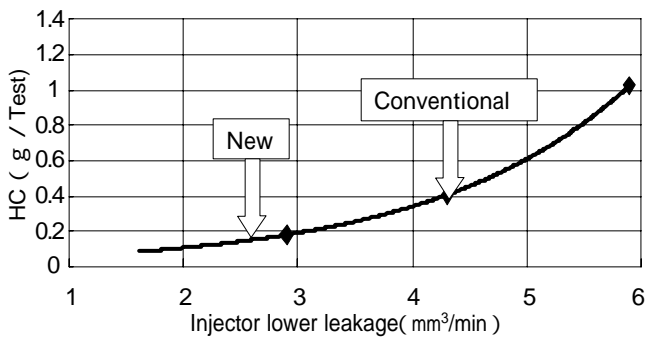


Fig.8 Injector Lower Leakage vs HC

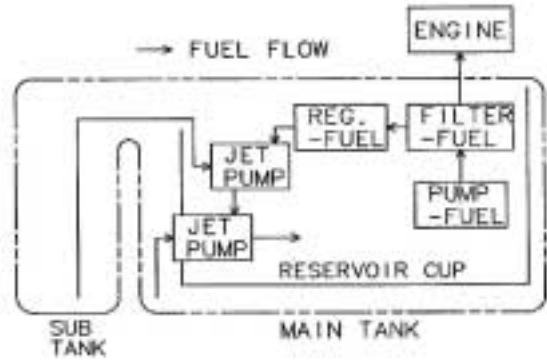


Fig.10 Return Less Fuel System

また、バルブとの溶着部分には、新開発の異種材料成形技術を採用した。これは、本体のプラスチックには低透過の材料を使い、溶着部には接着性の良い材料を使って成形する技術であり、従来の単層バルブの状態に比べてHC透過量を1/3以下に抑えることができる。

これらの技術を採用することにより、燃料タンクからのHC発生量を大幅に低減することができた (Fig.9)。

4.2 燃料温度低減

(1) リターンレス燃料系

エンジンルームを經由して燃料タンクに帰ってくるリターン燃料は温度が高いため、タンク内燃料温度を上昇させてしまう。その結果、エバポ発生量が増えて、エバポEMの悪化につながる。その対応として、タンク内の燃料ポンプにタンク内リターン機構を設けることで、燃料系ラインを1本にしたリターンレス燃料系を採用した。これによりリターン燃料がなくなったため、タンク内燃料温度の上昇を抑えることができた。しかし、その分エンジンルーム内燃料温度が上昇してしまうため、パーコレーションが発生しやすくなる。その対応として、燃料圧力を392kPaにアップして、熱間でエンジン始動が難しい環境下でも確実に始動できるようにした (Fig.10)。

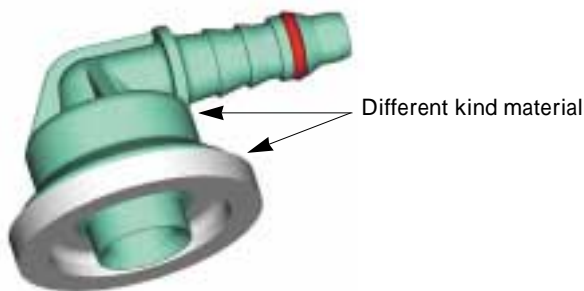


Fig.9 Different Kind Material Forming Technology

(2) 大型インシュレータ

RX-8はヨー慣性モーメント低減のために、燃料タンクを後部座席下にレイアウトしている。その結果、排気系を燃料タンクがまたぐ形の鞍型タンク形状になっているため、排気熱を直接燃料タンクが受ける構造になっている。その対応として、燃料タンク下面に大型インシュレータを装着した (Fig.11)。

これらの対応により、ランニングロスモード走行後のタンク内の燃料を低温に維持できるため、HC発生量を大幅に低減することができた。

4.3 大容量キャニスタ

60 Lの燃料タンクから給油時に発生するHCを吸着するために、USA向けは3室構造を持つ2.4 L大容量タイプのキャニスタを採用した。3室構造にすることで、エバポガス吸着時の大気側へのHC漏れを防止することができる。これにより、エバポ評価時のHC吸着能力も向上し、LEV-II Evapo.規制対応が可能になった (Fig.12)。

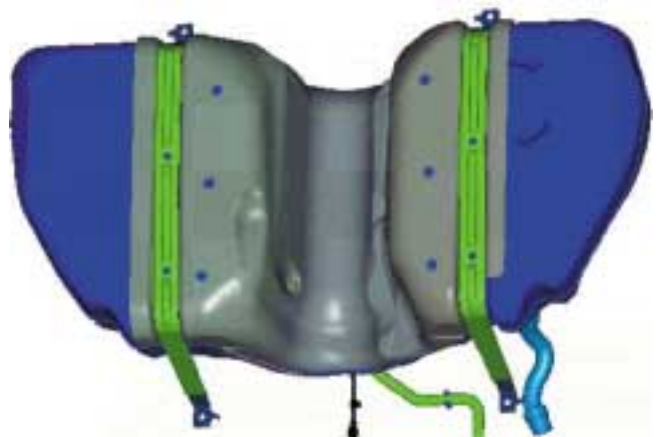


Fig.11 Fuel Tank Insulator

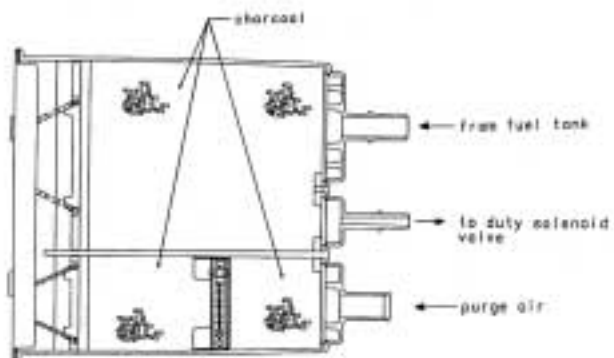


Fig.12 Canister for USA

4.4 高精度パージ制御

低濃度HCを保つためには、キャニスタに吸着するエバポガス量以上にキャニスタからパージする必要がある。そのために、電子制御パージバルブとエバポ学習制御による大量パージシステムを採用した。

電子制御パージバルブを用いることにより、回転数や負荷によって要求の異なるパージ流量を、PCMによって最適な量に制御することが可能になった。また、デューティパージ制御とすることで、常に化する運転条件に素早く反応できるため、A/F変動が抑制され、さらにO₂F/B制御で緻密な適合制御を行うことで、ドライバビリティと両立して、環境性能を高めることができた。

エバポ学習制御は、走行開始時は少しずつパージしてエバポ濃度を学習して、学習完了後に学習値に合わせて燃料流量を最適に制御しながら、大量にパージするシステムとした。フロントリアO₂センサによる広範囲のA/F計測データを基にエバポ学習制御を行うことで、エバポガス導入によるオーバーリッチの抑制とモード中の大量パージを両立させた。これにより、キャニスタがオーバーフローするのを防ぐことができ、全運転領域において低濃度HCを保つことが可能になった (Fig.13)。

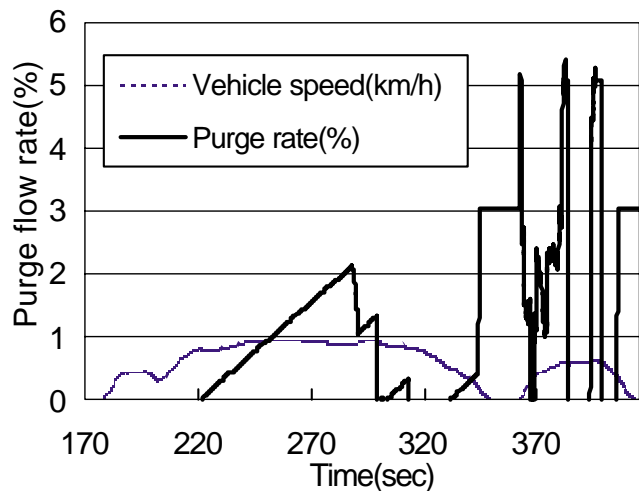


Fig.13 Purge Flow Rate

Japan	New Evapo.
USA	LEV-II Evapo.
EU	New Evapo.

Fig.14 Evapo. EM Regulation Conformity

4.5 各国エバポEM規制への適応

以上の技術を基に、PCMキャリブレーションを行い、主要各国のEM規制に適合させた。特にUSAにおいては、スポーツカー初のLEV-II Evapo.規制対応を行うことで、環境対応の先進性をアピールしている (Fig.14)。

5. おわりに

今や環境問題は、全人類共通の課題である。この課題に直結するEM性能を開発できることは、大変意義深いものを感じる。特にロータリエンジンはマツダ独自のエンジンのため、技術開発には多大な労力が必要であった。しかしその結果として、サイド排気化に代表される技術革新が可能になり、世界最高水準のEM規制へ適応することができた。これは素直に喜び誇れることであり、これなしにはスポーツカーは生き残れないと感じている。

マツダにしかないロータリエンジンに、今後もより一層の磨きを掛け、より高い目標に到達できるように、日々努力を重ねて行く所存である。

参考文献

- (1) Shimizu et al. "The Characteristics of Fuel Consumption And Exhaust Emissions of the Side Exhaust Port Rotary Engine"; SAE Technical Paper (1995)

著者



徳田 祥治



清水 良



丹羽 靖



世良 久



森本政博



重津雅彦

特集：ロータリエンジン

6

RENESIS生産ラインの紹介
RENESIS Production Line金 徳 祐 二*¹ 増 田 雅 彦*² 藤 崎 周 二*³

Yuji Kanetoku

Masahiko Masuda

Shuji Fujisaki

有 見 幸 夫*⁴ 椎 野 和 幸*⁵

Yukio Arimi

Kazuyuki Shiino

要 約

ロータリエンジン（以下RE）は、自動車メーカーの中でマツダだけが実用化に成功し現在も唯一生産を続けている。それに伴うREの生産技術、設備についても全て独自に開発を進めてきた。

マツダはこのたび、新世代RE「RENESIS」を完成させたが、この実用化には新たな生産技術、設備の開発が不可欠であり、マツダグループの技術者の総力をあげて実用化に取り組んできた。RE製造におけるマツダ独自の経験と技術、TPM活動に象徴される卓越した技能、そしてMDI（マツダデジタルイノベーション）に基づく新技術開発・工法の革新、伝統と先進性を融合させて構築したエンジン生産ラインを紹介する。

Summary

Rotary engines (hereafter called RE) are the automotive engines being produced by Mazda Motor Corporation, or the first and only company to have succeeded in putting them into commercial production among all automakers in the world.

Mazda has just completed a new-generation RE “ RENESIS ”, which had required the development of new technologies and facilities with all Mazda engineers’ energies focussed on practical use of RENESIS. This paper introduces Mazda’s own experiences and technologies about RE production, technical excellence symbolized by TPM activities, new technology development & production method innovation based on MDI (Mazda Digital Innovation), and our RENESIS engine plant built by unifying our tradition of technical excellence and advanced technology.

1 . はじめに

1967年コスモスポーツの発表からRX-7にいたるRE生産技術の変遷は、レシプロエンジンとは全く異なるトロコイドフォームを基本としたガスシールの構造をもつエンジンを世界で初めて製造することに始まった。そしてそれは設備を独力で造り上げていく技術開発、そして実用化、まさに創造の歴史でもあった。

今回「RENESIS」へと進化をとげたエンジン生産の実用化に際しても商品開発と併行して生産方式、工法の開発を行い品質のレベルアップも含めた生産システムを実現した。

2 . REの生産工場

REの生産は、1967年のコスモスポーツ発売開始時の試作時工程と設備での少量生産工場時代、1970年の3,000台/月の規模の工場時代を経て、1973年に広島本社宇品西

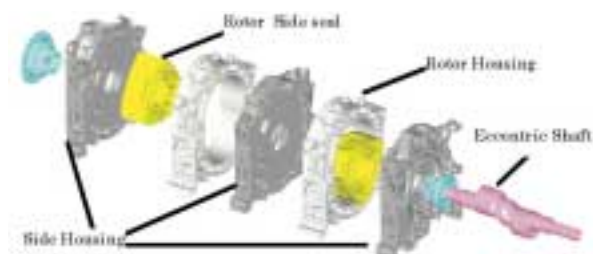


Fig.1 Basic Structure

* 1 ~ 5 パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

地区に建設された当時としては最新鋭全自動ラインでの大量生産工場へと移行し、その後のREは、常にこの工場での生産が続いている。生産部品は、ロータ・インターナルギア・ロータハウジング・3種のサイドハウジングの全加工、エキセントリックシャフト・サイドシールの仕上げ加工、及びエンジン組立である (Fig.1)。

RENESISの生産もこの工場の生産ラインを改造して行っている。この工場は(財)日本プラントメンテナンス協会が推進するTPM活動において2001年にトップレベルのTPM特別賞を受賞した、卓越した製造技術力を誇る工場である。加えてMDIで磨き上げたデジタル解析を駆使した生産技術力をベースに、RENESISを量産に結び付けてきた。

3. RENESIS生産の技術課題

RENESISの生産を成功させるためには、2つの技術課題を解決する必要があった。一つはペリフェラル排気からサイド排気という構造変更 (Fig.2) による生産上の課題の克服、もう一つは生産品質をグレードアップしIQS向上を狙った品質の強化である。

4. サイド排気化に伴う構造上の課題

サイド排気の採用により、ロータ側面に関わる機能が大きく変化した。従来のペリフェラル排気ではロータ側面は吸気のみさらされていたが、サイド排気では、吸気・排気両方にさらされる構造になった。この結果いくつかの構造上の課題が発生したが、特に(1)サイドシールの耐カーボン性の向上(2)ロータ側面のデッドボリュウムの低減という新技術開発により課題を解決した。

4.1 サイドシールスティックの抑制

RENESISのサイド排気化により、サイドシールの溝が排出ガスに直接さらされる構造になり、カーボンが溝内に堆積して短時間の運転でサイドシールがスティックする現象が発生した。この課題に対応するため溝及びシールをテーパ化し、シールの挙動を利用してカーボンを掻き出す構造 (ディーゼルエンジンのピストンリングに採用されているキーストンテーパ形状) を採用した。

サイドシールの溝加工は、現形状でも難しい加工であるが、形状変更により切削工具の刃先にかかる抵抗が左右不均等 (Fig.3) となり、溝巾精度のばらつきが大きくなるのがテスト加工により確認された。この結果、圧縮圧力

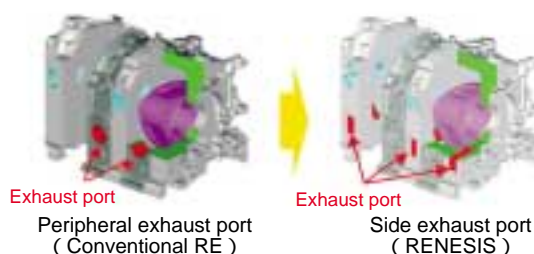


Fig.2 Side Exhaust Port

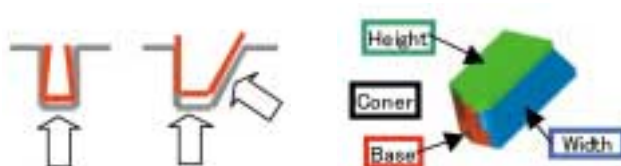


Fig.3 Cutting Force Fig.4 Simulate Tool Rigidity

の低下、ブローパイガス量の増加など、機能要求を満足できる製品精度を保証できないという課題が発生したが(1)刃具剛性の最適化・(2)切削条件の最適化・(3)設備剛性の最適化の3つの方向からアプローチした結果2倍の高精度を実現し機能要求を確保することができた。

(1) 刃具剛性の最適化

刃具剛性の向上を行うに当たり、CAE解析を用いた剛性評価 (Fig.4) を行い、より剛性の高い刃具形状を追求した。製品形状部分を除くツールの中、高さ、コーナR、材質を変化させ、CAE上では初期テストツール比4.7倍の剛性向上を図れるツールを設計できた。製作した実物の刃具においても、予測されるスラスト方向荷重では変形量が測定できないほどの剛性を1回で確保することができた。

(2) 切削条件の最適化

切削条件の最適化には、実験用NC旋盤に衝撃荷重を加味できるテストピースを取付け、実験計画法によるテストを繰返した。計測項目には溝幅精度に加え、切削荷重・衝撃力を取り上げた。その結果、切削力を半減、衝撃力を3分の1に低減する切削条件を見出すことができた。

(3) 設備剛性の最適化

サイドシールの溝加工は、入口及び出口がコーナシール穴 11に制限されるため、ギアトレインの複雑な組み合わせによる、特殊な専用機で行ってきた。しかしこの構造ではギアのバックラッシュ、刃物台のガタ等切削抵抗の偏りに対し脆弱 (前述(2)から求められた切削荷重でのコンプライアンスが要求精度の4倍弱) であり根本的な構造の変更が必要であった。そこでマツダグループの工作機械メーカーであるトーヨーエイテック(株)と協同して、新規加工ユニットを導入した。最低限の駆動部のガタで加工できるよう、前後駆動を全て1軸のNCで制御し、切削軸と同期させる構造とした (Fig.5)。最大の懸案事項は 11穴に刃具を挿入した後約5mmの短距離で切削速度75m/minにまで上げることの可能な高剛性と低イナーシャを両立できるツールヘッドの設計であったが、FEM解析を活用し最適化し

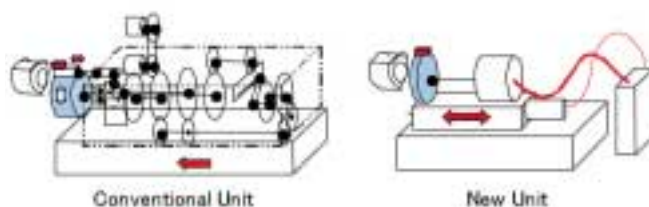


Fig.5 Develop High-rigid Machine

たことが、成功に結びついた最大の要因である。

4.2 ロータ側面のデッドボリュームの低減

従来のREの構造でサイド排気化すると、吸気と排気がロータ側面で混ざり合い、吸気の一部が燃焼されないまま排出されてしまう。それはロータの側面にはエンジン振動の低減のため単体バランス調整用の穴がけられており、これがデッドボリュームとなって出力・排出ガス・燃費性能への大きな弊害となることがわかった。従ってサイド排気構造成立のためにはデッドボリュームなしで低振動を成立させる技術の開発が必要となった。この課題解決のためにアンバランス発生要因を素材・加工・エンジン組立までを通して分析し、寄与度を明確化し、各領域の目標値を設定し、これを確実に達成することで静粛性を損なうことなくバランス調整穴加工を廃止することが可能となった。

(1) 素材バランスの安定化

素材アンバランス=素材寸法精度のばらつきである。その要因として鋳型から製品への寸法転写性が上げられるが、鋳型のキャビティ内への溶湯充填性が悪いと鋳型寸法どおり転写されない。そこでまず溶湯充填性について実態とCAE解析により分析を行った。その結果、今までのロータの頂点から注湯する鋳造法案では、ロータの3頂点部での溶湯到達温度差・溶湯充填タイミング差が大きく鋳型寸法精度をいくら高めても製品寸法にばらつきが発生することがわかった。そのため溶湯充填性が安定し、鋳造条件に口バストな鋳造法案にすべくFig.6に示すような各頂点へ均等に溶湯を充填させるセンタ堰方案に変更した。この法案をベースに湯道破断性、鋳型成型寸法精度の向上、金型のヒートバランスの最適化について、MDIプロジェクトで構築したI-DEAS, MAGMA, Pro-CAST等のCAE解析を実施することにより、金型-鋳型間の寸法転写性を向上させた。

(2) 加工バランスの安定化

加工アンバランスの最も大きな要因は、約4kgの重量を持った素材芯と加工芯のずれであり、このずれを低減することがアンバランスの大きな低減につながる。そこで、素材を位置決めする基準面の見直し、加工基準を作り上げるまでの工程トレランスの見直しを行った上で、素材芯と加工芯のずれ量の管理方式を決定した。また、加工精度を10分の数ミリの管理から100分台の管理にまで向上させるため、中間工程でアンバランス量を常時監視し傾向値管理

することで素材金型と加工基準金の劣化を総合的に管理できるようにした。更に、最終工程では全数完成アンバランス量を保証すると同時に、ロータには後述する方向規制用のアンバランス方向のマーキングを行っている。

(3) エンジン組立でのアンバランスの低減

エンジン組立においても、このアンバランス起因の振動低減に寄与する手法を導入している。REに組み込まれる2つのロータを前述のアンバランス方向のマーキングを確認しアンバランスを打ち消し合う方向に組み込むことで、荷重で40%・振動で6dBの振動を低減している。組付け方向ミスを排除する工夫も、ロータAssy治具を改良して織り込んでいる。

5. 製造品質のグレードアップ

RENESIS生産に当たっては、変更箇所の技術開発だけではなく、全ての品質をグレードアップすべく改善を織り込んでいる。TPM特別賞を受賞した卓越した製造技術力、及び新技術開発の積極的導入を背景に製造品質を上げた。

5.1 流用設備の完全リニューアル化

“自分で使う設備は自分で整備する”というTPM思想に基づき、全設備のメンテナンスを実施し全加工工程の工程能力を確保した。その過程ではもちろん設備をただ復元するだけではなく、改良保全という視点で積極的に内製エンジニアリングを活用している。

5.2 トロコイドフォームの精度向上

REの構造の中で燃焼室の形成に最も影響する部位がロータハウジングのトロコイドフォームである。RENESISの生産を機に、この加工にも精度向上の対策を織り込むべく従来のギアトレイン創生ギヤボックス+テンプレート倣い方式の研削ではなく、CNC方式の研削盤を導入している(Fig.7)。トーヨーエイテック(株)が従来得意としている5軸同時制御のCNCプロフィール研削の技術を基盤にロータハウジングに適合させるため、回転テーブルのイナーシャ低減と高剛性の両立、大容量主軸モータの採用に耐え得る高剛性スピンドルの設計、テーブルの高回転化に伴うトロコイドフォーム専用同期制御方式開発等の課題を克服した結果、従来比2倍の高精度と3倍の高効率を実現した。

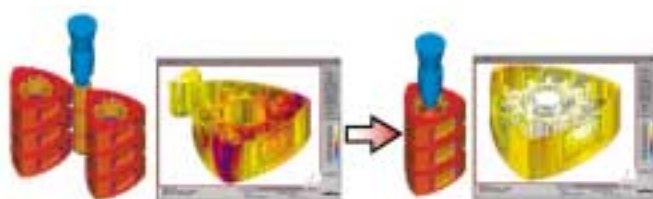


Fig.6 Precise Casting Method

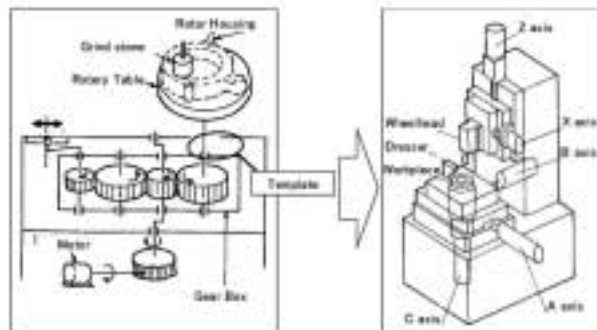


Fig.7 Make Trochoid Form Machine

5.3 アベックスシール溝焼入れの精度向上

ロータリエンジンの構成部品のひとつであるロータのアベックスシール溝には、溝内部のへたりによるシールの折損防止のため、従来よりレーザー熱処理法により局部硬化処理が行われていた。レーザーは、局部熱処理が容易で熱処理変形が小さいという利点があるものの、レーザー照射による加熱処理の前に塗布する熱吸収剤の管理の難しさとコストが高いという欠点があった。そのため、管理が容易で処理コストが安い高周波焼入れの工法を開発した。

高周波焼入れ工法の開発に当たっては、機能要求（HV200以上）を満足すること、熱処理変形をレーザーで変形よりも極小化すること、熱処理後の加工性を確保するために硬さをコントロールし上限（HV500）以下に抑えること、更にはコストをレーザー焼準に比べ50%低減できる革新的な手法を確立することに取り組んだ。考え方としては「コア工程の1工程のみで製品機能を満たすこと、すなわちシングルヒート化の実現」を目指した。

熱処理変形を極小化する手段として、一般的に用いられる円形コイルではなくロータ頂点部の必要箇所のみを熱処理することを目的とした局部コイルを採用した。これにより、磁束分布が狭くなり加熱範囲が極小化され変形をレーザー同等に抑えた。また、上限硬さをコントロールした上でシングルヒートによるコスト低減を実現するため、2段加熱パターンでの熱処理を考案した。第一段階で黒鉛からの炭素の固溶拡散を促進させた後、自己冷却により焼入組織を生成させ、引き続き第二段加熱により焼入組織を焼き戻し処理することにより微細なパーライト組織とし硬さ安定化を図ったものである。狙いの硬さを得るための温度条件（ $T1 \cdot T2 \cdot T3$ ）を決定するため、実験計画によるテストを行い、工程パラメータとして高周波出力電流値、加熱時間及びコイル～ワーク間クリアランスを求め、量産条件を決定した。

以上の取り組みにより、硬度・変形量を狙い値を確保した上で、生産コストをレーザー焼準比50%以下を達成することができた。

5.4 エンジン組立ラインでの機能保証

「生産する我々にとっては、数千・数万台に1台でも、お客様にとっては全部である」、マツダの中ではこの言葉がよく語られる。この言葉の意味を実践するために、NewI4エンジンより品質保証・機能保証を強化してきた。RENEISISの生産もこの思想を受け継ぎ、エンジン組立ラインには、多くの機能保証工程を配している。レシプロエンジンで培った機能保証の技術を、構造の異なるREの生産にも適応すべく対応した。REの機能を保証する上で最重要ポイントは、燃烧室のシール性を保証することである。そして、このポイントがレシプロエンジンと比較して最も異なるポイントである。このため我々は、開発初期から量産工場で作成エンジン組立て、シール性を保証するための生産システムを模索してきた。

その結果から、ショートエンジン状態・組立完成時点・

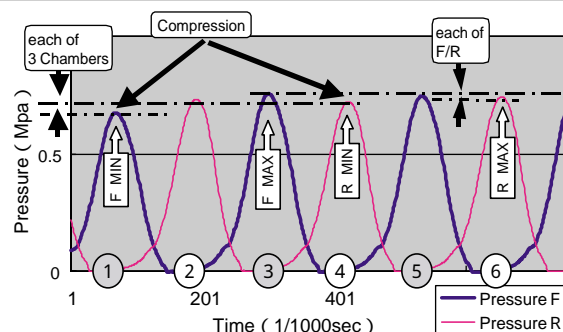


Fig.8 Compression Test

着火テスト終了後の3つの関所を設け、各々で圧縮圧力を確認する工程を設けた。確認する項目は絶対圧・3室差（3つの燃烧室の圧力差）・FR差（F室R室の差）で、各々出力・1/3次振動・1次振動の保証を目的としている。Fig.8に示すのは測定結果の例で、絶対圧のみならず、圧力波形についても評価するシステムを織り込んでいる。

圧縮圧力以外にも、燃料系・油系・水系の漏れ、ねじ締め付けのトルク、クランクトルク、アクチュエーターの動作、ハーネス類の導通など、多くの機能保証の工程を設けている。組付けられた部品や状態が万が一異常であった場合も、組付け直後の工程で発見・原因追求され、即座にそれ以降のエンジンに反映される。

6. おわりに

ロータリエンジンは、自動車メーカーの中でマツダだけが持っている固有の技術であり、課題解決への取り組みはマツダグループ独自で行うべき生みの苦しみであった。その過程で幾度も高い壁に直面したが、その都度 開発陣・工場・設備メーカーの協力を得て 現在にいたることができた。この世界に誇れるエンジンの生産に携わる機会を与えられたことは、我々にとっても大きな誇りである。

著者



金徳祐二



増田雅彦



藤崎周二



有見幸夫



椎野和幸

特集：RX-8

7

RX-8の紹介

Introduction of RX-8

片 瀨 昇*¹ 土 井 歩*²
Noboru Katabuchi Ayumu Doi

要 約

RX-8はマツダブランドDNAを商品に体現していくための「際立つデザイン」「抜群の機能性」「反応の優れたハンドリングと性能」の3つのキーワードを最大限に具現化した新世代モデルである。運転の楽しさという基本性能を徹底的に追求し“4ドア4シータスポーツ”というコンセプトを妥協なく高い次元で具現化するために、世界で唯一のロータリエンジンをはじめプラットフォーム、ボデー、サスペンション全てを新設計した。RX-8はマツダから全世界へのまったく新しいジャンルのスポーツカーとしての提案である。

Summary

RX-8 is a new-generation model which has realized three key words: “distinctive design”, “exceptional functionality” and “responsive handling and performance” to the most to bring Mazda Brand DNA into products. All components including the only Rotary Engine in the world, a platform, body and suspension have adopted new designs to realize a concept of “4-door and 4-seater sports car” in a high order without any compromise and to thoroughly seek for the basic performance of “fun to drive”. RX-8 is the entirely new style sports car Mazda offers to the world.

1. はじめに

マツダのスポーツカー造りに一貫しているのは、意のままに操る楽しさを追求し、その運転する楽しさをより多くの人々に提供したい、そしてお客様に対して常に新しい価値を提供しようとする志である。

1999年、東京モーターショーでRX-EVOLVとして出品以来コンセプト検討と商品開発を進めてきたRX-8にもこの志はまったく変わることなく流れている。すなわちスポーツカーのスタイリングそして運転する楽しさという基本性能を徹底的に追求することに加え、大人4人が十分に乗れる機能性を妥協なく高い次元で実現することでまったく新しいスポーツカープレジャーをお客様に提供している。

RX-8は、世界で唯一コンパクトで高出力であるロータリエンジンを持つマツダにしか成しえない新しいジャンルのスポーツカーの提案なのである。

2. 商品コンセプト

RX-8の基本コンセプトは「New 4Door Sports for 4Adults」であり、その狙いは4ドア4シータの本格スポーツカーとつかない価値を高い次元で具現化することにある。

お客様への具体的な提供価値は次の2点である。

- ・ 個性的でまぎれもないスポーツカースタイリングによる自己表現欲求の充足と高度なスポーツカー性能による比類ないドライビングエキサイトメント
 - ・ 大人4人の居住性やユーティリティによる、既存のスポーツカーを大きく超えるフレキシブルな実用性
- すなわちRX-8は、スポーツカーでしか手に入らない個性やドライビングエキサイトメントを求める人々の要求に応えると同時に、家族や友人のためにスポーツカーに乗ることをあきらめていた人々の夢を実現する。

* 1, 2 第3プラットフォーム・プログラム開発推進室
Platform & Program Management Office No.3

3. 車種構成と主要諸元

3.1 ボデータイプ

ボデータイプは、センターピラーレスフリースタイルドアの4ドアクーペのみの設定とした。

3.2 パワートレインラインナップ

エンジンは、新開発の新世代ロータリエンジン「RENESIS（新たなるロータリエンジン（RE）の始まり（Genesis）の意の造語）」を搭載した。RENESISは「サイド排気・サイド吸気」などの革新技术により、総排気量654cc×2の自然吸気でありながら、最高出力184kW {250ps} /8,500rpm、最大トルク212Nm {21.3kg・m} /7,500rpmに達する（ハイパワーユニット）。また、より幅広いお客様にもスポーツカーエキサイトメントを味わっていただくため、中低速トルクやドライバビリティを重視したスタンダードパワーユニットも用意した（Table 1）。

駆動方式は後輪駆動のみである。

トランスミッションは、ハイパワーユニットには6速マニュアルトランスミッションを、スタンダードパワーユニットには5速マニュアルトランスミッションおよびステアリングシフトスイッチ付電子制御式4速アクティブマチックトランスミッションを用意した（Table 2）。

差動制限装置については、新しいトルクセンシングタイプの「スーパーLSD」をハイパワーユニット車に標準装備した。

3.3 主要諸元

RX-8は一目見てスポーツカーとわかるスタイリングを実現しつつ大人4人の居住性・機能性を高い次元でバランスさせるため、フロントおよびリヤオーバーハングを極力切り詰め、2,700mmのロングホイールベースとしている（Fig.1）。

Table1 Engine Performance

	High Power	Standard Power
Maximum Power	184kW {250PS} @8,500rpm	154kW {210PS} @7,200rpm
Maximum Torque	216Nm {22.0kgm} @5,500rpm	222Nm {22.6kgm} @5,000rpm
Rev. Limit	9,000rpm	7,500rpm

Table2 Power Train Line Up

Engine	T/M		
	6MT	5MT	4AT
High Power		n/a	n/a
Standard Power	n/a		

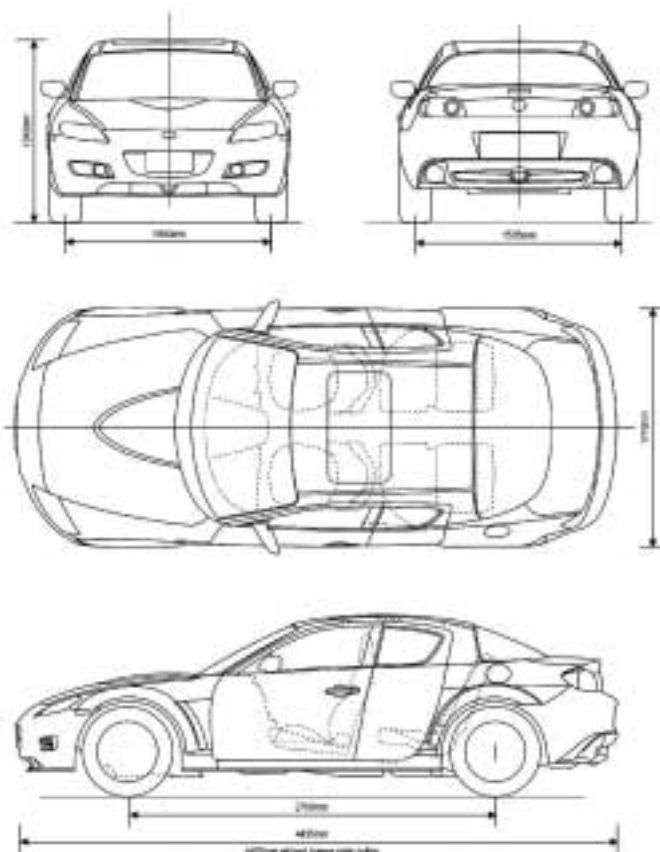


Fig.1 RX-8 Exterior Dimension

4. RX-8の特徴

「New 4Door Sports for 4Adults」というコンセプトを具現化するため、RX-8では次のことに取り組んだ。

- ① スポーツカーとしてのコアバリューの強化
 - ・ 独自のスポーツカースタイリングの実現
 - ・ ドライビングエキサイトメントを創造するスポーツカーダイナミック性能の追求
- ② 新しい価値の創造
 - ・ スポーツカーダイナミクスと快適性の両立
 - ・ 大人4人のための実用性と機能性
 - ・ カスタマーデライトの視点を加えた次世代クラフトマンシップ
 - ・ 高度な安全性と環境への配慮

4.1 デザイン

「マツダスポーツカーDNA」とは、軽量で抜群のネットワークを持つ走りのよさと、それが直感できるダイナミックなスタイリングである。このDNAを継承しさらに進化させた次世代の「スポーツカーダイナミズム」、これがRX-8デザインの基本思想である。

エクステリアデザインのテーマは「アスレティックテンション」。「軽快で引き締まった緊張感を持ち、今にも走り出しそうな躍動感」を意味し、これを具現化するため、ダ



Fig.4 Advanced Front Mid-ship Layout



Fig.2 Exterior



Fig.3 Interior

イナミックフォルム、スタビリティ、テンションという3つの造型表現にこだわった。

インテリアでは「コンフォタブリタイト（心地よい包まれ感）」を基本テーマとして、モダンで上質なスポーツカーテイストを表現した。

4.2 ダイナミック性能

(1) パワートレイン

新開発の新世代ロータリエンジンRENEISISは1995年の東京モーターショーに出品したRX-01のパワーユニットMSP-REをルーツとして進化を重ねてきた。

このRENEISISの最大の特徴は「サイド排気・サイド吸

気」を採用したことにより、吸気ポート面積を従来型ロータリエンジンより約30%拡大し吸気抵抗を大幅に低減している。総合吸気可変システムやエレキスロットルと相まって高出力を得るとともに、燃費やエミッションについても従来型ロータリエンジンと比べて大きく改善した。

(2) プラットフォーム

1978年以来、RX-7はフロントアクスルより後方にエンジンを置いたフロントミッドシップによりスポーツカーに理想的な50：50の前後重量配分を実現してきた。

RX-8では自然吸気であるRENEISISのコンパクトさに着目し、これまでのRX-7のフロントミッドシップと比べて、エンジン本体を40mm低く60mm後方に、かつダッシュボードを80mm前に出してエンジンと乗員との距離を140mm短縮した次世代スポーツカープラットフォームとなりうる「アドバンスドフロントミッドシップレイアウト」(Fig.4)を実現した。

またこれに加えて、樹脂製フューエルタンクをリアアクスルより前にレイアウトするなどにより50：50の理想的な前後重量配分はもちろんのこと、ヨー慣性モーメントについても極小化を図った。

これらにより、RX-8は俊敏な回頭性と優れた安定性を両立し、車と一体となった意のままに操れる楽しさを実現している。

(3) ボデーダイナミクス

RX-8では、スポーツカーとしての優れた運動性能を実現するため、強固なアンダーボデーフレームワークやキャビンの効果的な補強を行っている。

1) アンダーボデーフレームワーク

エンジンを下げることで生み出したトンネル上部の空間に設置した高剛性閉断面のハイマウントバックボーンフレーム (Fig.5) を前後のフレームに結合することでボデーの曲げ剛性とねじり剛性を大幅に向上させた。また、アドバンスドフロントミッドシップレイアウトにより可能となったエンジンルーム内のクロスメンバや、トンネル下開口部の左右をつなぐ3本のクロスメンバなどによりボデーの局部剛性も高めた。



Fig.5 High Mount Back Born Frame



Fig.6 Front Suspension System

2) キャビン

テールドブランクによるインナーパネル（3種類の鋼板）とレインフォースメント（5種類の鋼板）を組み合わせることでドア開口まわりを効果的に補強している。またハイマウントバックボーンフレーム後端と左右リヤダンパの上部マウントを結合する高剛性ブレースをV字型に設定することでダンパの支持剛性を高めるとともに、リヤボデー周りのねじり剛性を大幅に向上させている。

これらによりセンターピラーレスボデー構造で同等のホイールベースを持つセンターピラー付スポーツセダンよりも優れた高剛性・軽量ボデーを実現した。

(4) シャシーダイナミクス

サスペンションは、比類ないドライビングエキサイトメントを提供するため優れたコントロール性とハンドリング、そしてロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求し、フロント、リヤともRX-8のために新開発した。操縦安定性を極めたスポーツサスペンション仕様と走りと乗心地を高い次元でバランスさせたスタンダードサスペンション仕様の2つのセッティングを用意した。

1) フロントサスペンション

アドバンスドフロントミッドシップによって可能となった低いボンネットを生かすため、新開発のインホイールタイプ・ダブルウィッシュボーン式を採用した。アッパー・ロアアームを高剛性サブフレームに取り付け、かつアーム長を長くすることで前輪の上下動に対するリニアなアライメント変化を実現した。

パワーステアリングはドライバに適切なロードインフォメーションを伝達する新開発のラックドライブ式電動パワーステアリングを採用した。

ダンパは大径ピストンのガス封入モノチューブ式を全グレードに前後とも採用した。

2) リヤサスペンション

5本のリンクを持つ新開発のマルチリンク式を採用した。走行時の外力に対して常に理想的なジオメトリ変化を得るために、各リンクを長くするとともにそれ



Fig.7 Rear Suspension System

らのレイアウトを最適化し、ハイレベルな操縦安定性と乗心地を実現した。またリヤサブフレームは通常4点でマウントされるが、RX-8では新開発の6点ラバーマウントを採用し、リンク類の高い支持剛性を確保しながら上質な乗心地とロードノイズの低減を実現した。

4.3 パッケージング

RX-8はRENEISISによる高効率パッケージングやセンターピラーレスフリースタイルドアによって、スポーツカーフォルムのなかに大人4人のための適正な居住空間を確保し、スムーズな乗降性を実現した。

(1) スポーティセダンに匹敵する前後居住性

前後ともゆとりあるヘッドクリアランスを確保するため、エグゾーストマニホールドや触媒コンバータの配置などを最適化し低い乗車位置を実現した。さらに後席のニースペースを確保するために、フロア形状やフロントシートバックに工夫を凝らし、クッションの厚みを抑えながら快適な着座感とホールド性を提供する形状を開発した。

(2) センターピラーレスフリースタイルドア

センターピラーがなく、フロントドアが前ヒンジで約70度、リアドアが後ろヒンジで約80度まで開くため、前後ドアを開くと驚くほど大きな開口スペースが現れ、後席への乗り降り容易にできる。

(3) 収納スペース

RX-8はスベアタイヤの代わりに応急パンク修理セットを標準搭載することで、RX-7より約130mm短いリヤオーバーハングながらゴルフバック2つもしくは67サイズのスーツケースが2つ収納できる約300L (DVA方式)の独立したトランクルームを確保した。

このほか室内にはカップホルダやコンソールボックスなど随所にアイデアが盛り込まれた、使いやすい収納スペースを確保した。

4.4 クラフトマンシップ

RX-8では、アテンザやデミオで訴求している仕上げ品質などの「基本的な造り込み」と「機能美」に加えて、乗るたびにワクワクする楽しさをお客様に提供することを目的に「カスタマーデライト」という要素を新たに採り入れた。

カスタマーデライトは「操作の楽しさ」と「エンターテインメント」をお客様に提供することをめざしている。

指先で俊敏に操作できるアクティブマチックのステアリングシフトスイッチ、ブルー間接照明などユニークな照明ロジックを採り入れたメータパネル、パンチングメタルをモチーフしたサンバイザなど、多岐にかつ細部にわたって斬新なアイデアを具現化した。

また、ハイパワーユニット車のペダルにはアルミを使用したほか、MTシフトノブやステアリングシフトスイッチにはレザー表皮と同じ温度特性をもつ特殊な金属メッキを施し、本物のメタル感が味わえると同時に、夏場でも快適に操作できるようにした。

4.5 安全と環境への配慮

マツダのDNAから生まれたスポーツカーならではの運動性能をより多くの方がゆとりを持って楽しめるように、アクティブセーフティとパッシブセーフティの両面でさまざまな独創技術を開発した。

また、排出ガスのクリーン化や低燃費化、環境負荷物質の低減、リサイクルの推進など、環境性能においても積極的に取り組んだ。

(1) アクティブセーフティ

RX-8は、スポーツサスペンション仕様のフロントブレーキに採用した17inch型大径ディスクや大径10inchシングルブスタなどにより同クラストップレベルの制動距離を実現した。さらに4W-ABS¹とEBD²を全車に標準装備したほか、DSC³を設定した。

(2) パッシブセーフティ

RX-8は、専用開発の高剛性・安全ボデー「MAGMA⁴」により、世界水準の高度な衝突安全性を実現した。特に側面衝突においてはセンターピラーレス構造でありながら、通常の4ドアセダンと同等の衝突性能を実現した。またデュアルステージタイプの運転席&助手席SRS⁵エアバッグシステムに加え、SRSカーテンエアバッグとフロントサイ

ドエアバッグも設定した。この他にクラッシュブルペダルやトップテザー付ISO-FIX対応チャイルドシート固定機構、万一の際の歩行者保護にも配慮し衝撃吸収コーン構造アルミボンネットなどを採用した。

(3) 環境への配慮

環境性能では、サイド排気・サイド吸気を採用した新世代ロータリエンジン「RENESES」などによって燃費、エミッションとも従来型ロータリエンジンに対して大幅に向上しており、エミッションについてはハイパワーユニット、スタンダードパワーユニットとも「優 - 低排出ガス」認定 (E-LEV: Excellent Low Emission Vehicle) に対応している。

また、リサイクルしやすい熱可塑性樹脂の積極的な使用や複合材料部品の解体分離をやすくするなどの取り組み、一部プラスチック部品へのリサイクル材の使用など、環境保全と資源保護に貢献している。環境負荷物質については、鉛使用量を2005年までに1/3以下 (1996年比) に低減するという日本国内の業界目標を達成した。

5. おわりに

以上、RX-8の開発の狙いと商品概要について簡単に紹介した。各項目の詳細な内容については各専門分野の別稿を参照いただければ幸いである。

世の中に自動車が生産されて以来、人は運転することの楽しみに魅了されてきた。常に車の新しい価値を提案しつづける我々が、この「運転する楽しみ」をもっと多くの方々に提供したいと願って生まれたまったく新しいジャンルのスポーツカーがこのRX-8なのである。

著者



片淵 昇



土井 歩

¹ Antilock Braking System

² Electronic Brake-force Distribution

³ Dynamic Stability Control

⁴ Mazda Geometric Motion Absorption

⁵ Supplemental Restraint System

特集：RX-8

8

RX-8のデザイン Design of RX-8

前田 育男*1

Ikuro Maeda

要約

ブランドアイコンとしてマツダブランドの将来を示唆する使命を持ち、革新的なレイアウト、新規性の高いドアシステム、新しいロータリエンジンなどマツダのチャレンジスピリットとスポーツカー造りの永年培われたノウハウを詰め込んだ商品がこのRX-8である。デザイン開発においても、“新しいスポーツカーの形”を創造することを基本の目標とした。デザインDNAを的確に継承しつつ、一目で新しいマツダスポーツカースピリットが感じられる形状を創り出すため、造形表現、質感表現など様々なチャレンジを行った。ダイナミックかつ軽快感溢れる、引き締まったエクステリア造形、心地よい大人4人のための居住空間という相反する要素を同時に体現し、加えて本物感を目指し、形、テクスチャー、素材、色、機能をトータルでコントロールした質感表現を行い、マツダデザインDNAを最も特徴的に表現するスタイリングを目指した。

Summary

RX-8 is on a mission to inspire the future of Mazda brand as a brand icon packed with Mazda's challenge spirit that can be seen in its innovative layout, new-type door system and new rotary engine as well as the expertise of creating sports cars that have been developed within Mazda over the years. Creating a “New Sports Car Style” was the primary theme of the design development. In order to accurately succeed the Design DNA and create a sports car that shows our new spirit of sports car, we faced various challenges such as styling and representation of high quality feel. RX-8 has a lean body in consideration of high-power and airlines, yet also has an interior space that can accommodate four adults. In addition, we aimed for a sense of reality and tried to create a sense of verisimilitude by collectively coordinating the style, texture, material, color and function, thus achieving the best styling that characterizes Mazda Design DNA.

1. はじめに

1999年、東京モーターショーカーとしてデビューしたRX-EVOLVEによって、RX-8のデザイン開発がスタートした。市場環境の変化によって、歴史あるスポーツモデルが消えていくなかで、スポーツカーが存在し得る新しいフィールドを生み出すこと、それが長年に渡ってスポーツカーを造り続けてきたマツダの使命だと言える。その答えを示すため生まれたのがこのRX-8である。

スポーツカーの居住空間を革新するインテリアデザインとリアルスポーツカーとしてのエクステリアデザインの両

立を実現させることが出来れば、“新しいスポーツカーの形”を創造する事が出来る。これは、スポーツカーメーカーのマツダにとって、我々デザイナーにとっても非常にエキサイティングなチャレンジだった。

2. デザインの狙い

デザイン開発においては、ブランドアイコンとしてマツダブランドを的確に表現することが最も重要であると考えた。RX-7、ロードスターなどの歴代スポーツカーが構築してきた独自のスポーツカーブランド、それから革新的な技術を生み出してきたフロンティアスピリット、この2つの

* 1 アドバンスデザインスタジオ
Advance Design Studio

イメージを融合させた“マツダらしさ”を解りやすい形として表現すること、これをデザインの基本方針とした。この表現を具現化するための施策として以下の3つのアイテムをテーマとし、デザイン開発を行った。

(1) ユニークなテクノロジーを生かしたデザイン

コンパクトなサイズ、搭載位置を持つマツダ独自のロータリエンジン、フリースタイルドア・バックボーンフレームが造り出す全く新しいパッケージングを最大限生かしながら、オーソドックスな4ドア車に見えない、アグレッシブなスタイリング、新しいインテリア空間を創造する。

(2) アスレティックな“動き”の表現

マツダスポーツカーDNAであるライトウエイトで軽快な雰囲気を受け継ぎ、硬質で力強い造形でアスレティックな動きを表現、インテリアもエクステリアとのインテグレーションを図ったアスレティックな造形表現を行う。

(3) 本物感、温かみを感じる新しい質感表現

デジタルデータのみで造られたようなクールなフィーリングではなく、エクステリア、インテリアパーツとも、材質、形状、手触り、剛性感など、多角的に質感をコントロールし、職人が造りこんだような本物感、温かみを感じる質感表現を行う。

3. スポーツカーのプロポーション

エクステリアデザインは、スポーツカーらしいバランスを生み出すことから始めた。

スポーツカーのプロポーションに明確な定義が存在している訳ではない。しかし、スポーツカーに見えるかどうかは漠然とある境界線が存在している。その境界線を探り出すためにスポーツカー、スペシャルティカー、スポーツィセダンの代表的な車のプロファイルをいくつかの角度から比較した (Fig.1) 結果、車全体のマスに対するキャビンの占める視覚的な割合がそのキーを握ることが解った。大人4人の快適な居住空間、乗降性、視界など4シータカーとして必要な条件を確保した上で、スポーツカーと認知出来るプロポーションを創り出すためには、この研究が有効であった。この結果をベースにスケールモデルで3Dによる実際の見え方を確認した。

3.1 フリースタイルドアの採用

通常の4ドアシステムではキャビン長が短く出来ないため、スポーツカーのバランスを生み出すことが出来ない。これを解決するためにフリースタイルドアを採用した。このシステムによって150mm以上リヤドアが短くなり、それによってコンパクトなキャビンを造り出すことが可能となった。

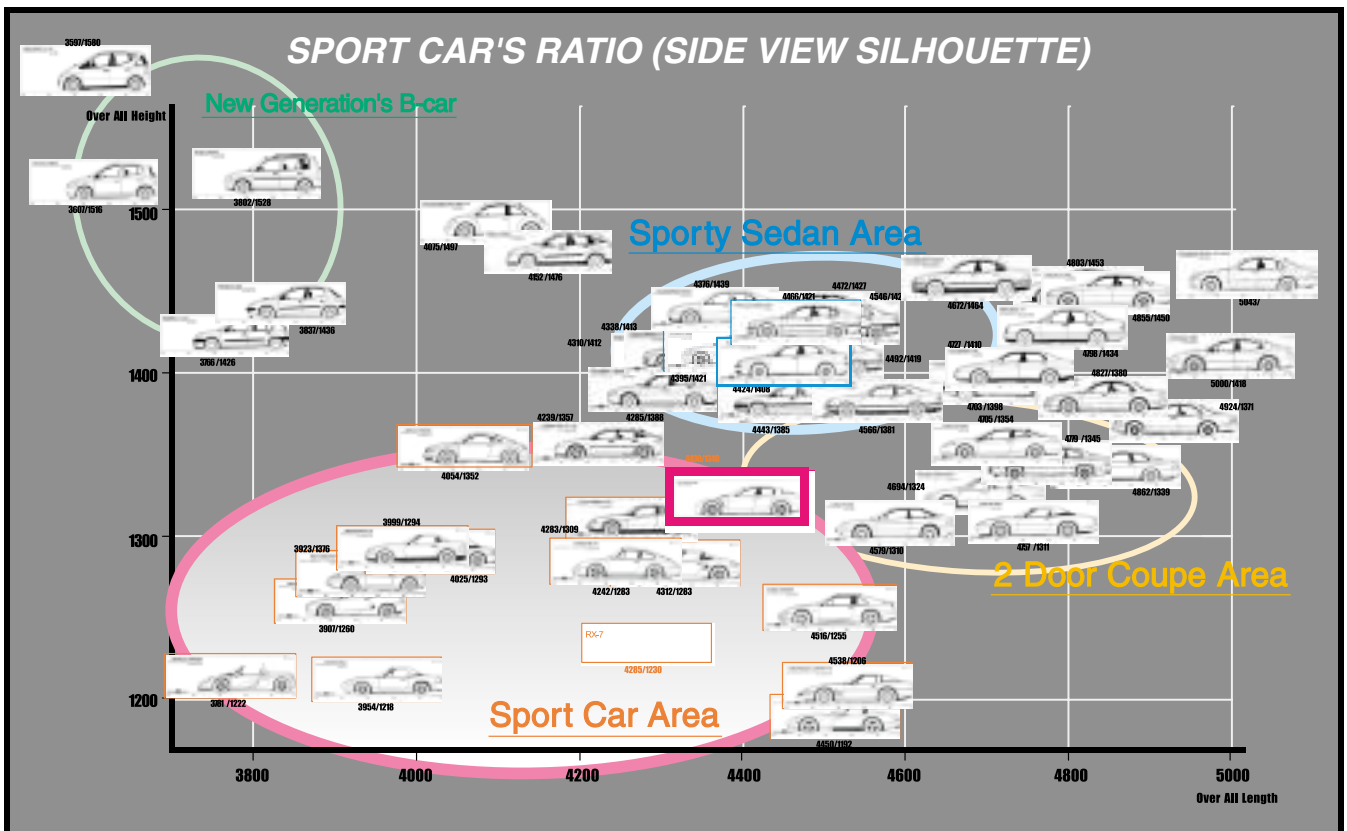


Fig.1 Sports Car's Ratio

3.2 コンパクトなロータリエンジン

最新の安全基準をクリアするためには、エンジンとフードの間にクラッシュゾーンが必要で、容易にノーズを低くできない。コンパクトで低い搭載位置を持つロータリエンジンによって、高い安全性能を確保しつつフード位置を下げる事が可能となり、スポーツカーらしいノーズが実現出来た。

コンパクトなキャビンと力点をホイール間に置いたCピラー形状によって安定感のあるスポーツカーらしいバランスを作り出した(Fig.2)。Fig.3は開発初期のクレモデル、未だキャビンヘビーの不安定なプローションを持つ。

4. マツダスポーツカーDNAの継承と革新

4.1 ライトウエイト

マツダのスポーツカー造りには長年培われてきた“ライトウエイト”というDNAがある。スタイリングもそのDNAを反映し、軽快なフィーリングをテーマとしてきた。

それは、ハイパワーで重いボディを引っ張るのではなく、軽量化とハンドリングの洗練によって人車一体のドライビングプレジャーを追求するマツダのスポーツカーづくりの思想を反映したものと言える。

そこで、RX-8ではそのDNAを継承し、かつアスレティックな動きを強調することで、安定感と動きという2つのファクターの両立を図り、走る姿の美しさに重点を置いたスタイリングを体現した。

4.2 アスレティック表現 (Fig.4)

アスレティックな動きについては、フロントのエアインテークからリアエンドにワンシェイプでつながるダイナミックな造形で表現した。これは、キャラクターラインやグラフィックといった2次元的な動きに頼らず、ボディ全体の造形で動きを表現することで、どのようなアングルで見ても、違和感のない普遍的な強い動きを体現したものである。

4.3 3D造形

フロントフェンダーやドアパネルなどは非常に特徴的な3D形状で構成した。この絞り込まれた造形により、軽快なフィーリングとスポーツカーらしい緊張感を表現した。

特に、フロントフェンダーは、高度なシミュレーションシステムを駆使し、生産技術のメンバーとの何カ月にも渡るコラ



Fig.2 Final Model



Fig.3 Proportion Study

ボレーションの未実現した。シートメタルをこれだけ深く絞り込んだ形状は、樹脂では表現出来ない独特のテンションが感じられ、職人が造った50~60年代のスポーツカーのような温かみを表現することが出来た。

4.4 空力性能

スポーツカーにとって重要な空力性能は、スポイラーなどの付加物なしで最適な値が得られるよう、床下形状を含めデッキ形状、リヤランプレズ形状の最適化を図った。CD=0.30(北米、欧州仕様)特に前後のリフトバランスは最良の値を実現している。



Fig.4 Dynamic Form

5 . インテリア空間の革新

5.1 心地良い包まれ感の表現

(Fig.5 , 6)

インテリアは、従来のスポーツカーが持つタイトでドライバ中心の室内空間からイメージを一新し、ドライバ、パッセンジャどちらにも配慮され、心地よい包まれ感を持つ空間を作ることを目標とした。

インストルメントパネルを、センターと両サイドの3セクションで構成し、その造型に合わせてテクスチャも使い分けることで、インストルメントパネルの重さを軽減し、タイト感を払拭した。左右パッド部分には、デジタル&レーザー切削技術を用いた新意匠のグレインを開発し、通常のレーザーグレインやエンボスグレインに比べ斬新でメカニカルな雰囲気表現した。操作系、表示系はセンターに集中させ、コンパクトでドライバ、パッセンジャどちらからも扱いやすいレイアウトとした。

5.2 コックピット

スポーツカーにとってコックピットのデザインは、ドライバのエンスージアスティックな世界であると同時に、その車がスポーツカーとしてどのような哲学を持っているかを示す非常に重要な場所である。我々はロータリスポーツとして、エキサイトメント、新しいスポーツカーとしての新規性を表現する事を目標とした。

コンパクトな3連メータ (Fig.7) は、ドライバの目線移動を減らすため、センターに主要な表示を集中させ、その中心にロータリエンジンならではの1万回転まで刻まれたタコメータを配置した。照明にも工夫を凝らし、昼夜間でイルミネーションの色が切り替わり、夜間は赤照明でエキサイティングな雰囲気演出している。

5.3 アスレティック表現

この車の大きな特徴であるドアを開けた瞬間に見える景色はエクステリアの動きとのインテグレーションに注力した。ボンネットフードのパワーバルジを起点として、インパネセンター部からセンターコンソール、リヤエンドへと連続する造形で、エクステリアデザイン同様アスレティックで強い躍動感を表現した (Fig.8)。

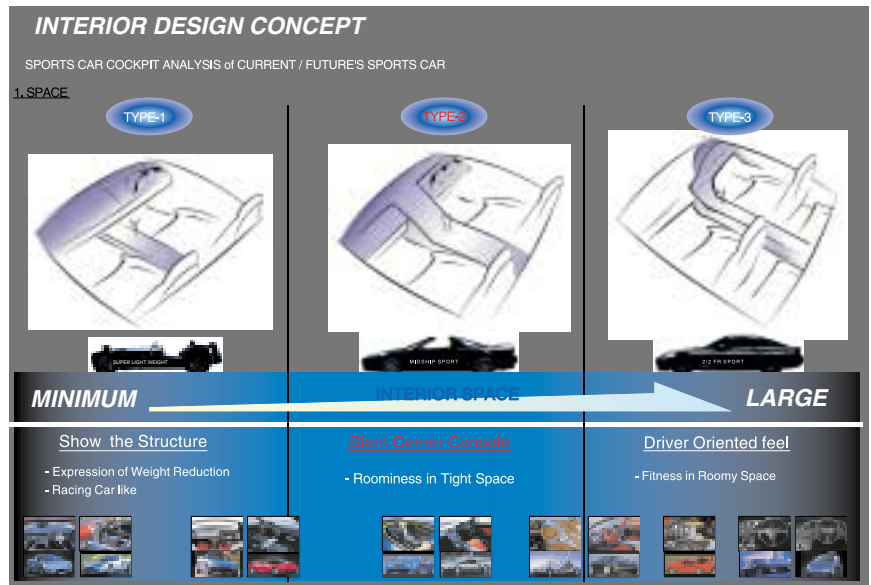


Fig.5 Interior Design Concept



Fig.6 Final Drawing



Fig.7 Meters



Fig.8 Dynamic Form

6. 新しいクオリティ表現

モダン、エモーションそして機能の融合を図った新しいクオリティ表現を行った。

6.1 匠（職人）が造り込んだような本物感表現

部品一つ一つに至るまで、機能、形、マテリアルを吟味し、丁寧に創り込みを行った。従来インテリアではアクセントとしてペイント（シルバー）もしくはプリント（木目など）が多く使われてきたが、更に本物らしさを追求するため、RX-8では金属、漆などの高級素材、もしくはそれ同等の質感を表現することを目標とし、部位を厳選して見栄えの向上を図った。メカニカルなイメージを訴求する部位、MTシフトノブ、ドアハンドルなどはメタル素材を、高級オーディオをイメージしたオーディオパネルには漆調のピアノブラック仕上げを施した。また、手の触れる部分は、ソフト材、温度変化の穏やかな多層メッキなどを使い分けることでタッチ感の向上を図った。

6.2 ロータリスポーツとしてのエモーション表現

MTシフトノブ（Fig.9）シートベゼル、リヤバンパに装着されるリヤフォグランプなどにロータリシェイプをモチーフとした形状を持たせ、この車の新しいロータリスポーツとしての特別な意味を表現した。



Fig.9 MT Shift Knob

6.3 多彩なシートバリエーション

スポーツ性の高いファブリック仕様と、3色のカラーバリエーションを持つ上質なレザー仕様を揃えることで、インテリアイメージの拡充を図った。どちらの仕様も、シートのサイド材にストライプデザインのアクセントを用い、ウエットスーツのようなスポーティさと機能美を表現した。

7. おわりに

RX-8のデザインにおいては、今までのスポーツカーにはなかった様々な新しい価値を生み出すことが出来た。全てが新しいチャレンジであり、その実現には予想も出来ないような困難が伴ったが、設計、実研、生産ほか全てのメンバーが常に同じ目標を共有し、相互補完しながら問題の解決にあたることが出来た。協力していただいた方々に、この場を借りてお礼を申し上げたい。

RX-8は、マツダでしか造れないスポーツカーである。私は、この車がマツダの将来にとっても、スポーツカーの将来にとっても非常に重要なアイコンになると確信している。

著者



前田育男

特集：RX-8

9

RX-8のパッケージング Package of RX-8

任 田 功*¹ 中 村 幸 雄*²
Isao Tohda Yukio Nakamura

要 約

RX-8は、4ドア4シータスポーツとして、スポーツカーの新ジャンルを開拓すべく開発された、RX-7やロードスターに続く、マツダ第三のスポーツカーブランドである。この4ドア4シータとスポーツカーの運動性能/スタイリングを両立させるために、革新的プラットフォームと機能的アッパーパッケージが必須であった。

プラットフォームに関しては、マツダスポーツカーのDNAである“意のままに操る、楽しさの追求”をカスケードし、“速さとコントロール性の両立”という技術開発テーマを掲げ、それらに対するパッケージ諸元の影響を、マツダが保有するドライビングシミュレータや試作車を用いて検討した。その結果、速さとコントロール性を高い次元で両立させるためには、ヨー慣性モーメントの大幅な低減が効果的であるということが分かった。さらに、ロータリエンジン（以下RE）のパッケージ上の特徴をレシプロエンジンと徹底的に比較分析することで、その具現化手段を明確にした。その結果生まれたのが、REのメリットを最大限に生かすアドバンスドフロントミッドシップレイアウトである。

アッパーパッケージはスポーツカーデザインと大人4人の居住空間を両立するセンターピラーレスのフリースタイルドアを中心に、従来のスポーツカーでは考えられないほど充実した収納スペースを、スポーツカー機能と両立させて実現した。

Summary

RX-8 is a 3rd sports car brand, or a successor to RX-7 and Roadster, which has been developed to open up a new genre of sports car that features four doors and four seaters. In order to realize these four door/four seater systems while providing both sporty dynamic performance and styling, we had to develop an innovative platform and an intelligent upper package.

For the platform, we have established an objective of technology development as “A superb combination of speed and controllability” as a cascaded theme from one of DNAs of Mazda sports cars, “the fun of driving that mirrors our thinking”. Under this objective, a study was made on the impacts of “Speed” and “Controllability” on each packaging feature using a driving simulator and a prototype vehicle. The study showed that a substantial decrease in yaw inertia moment was an important factor in striking an excellent balance between “Speed” and “Controllability”. For the realization of the low yaw inertia moment, we have made a thorough examination on a packaging difference between an rotary engine (hereinafter referred to as RE) and a reciprocating engine, and finally created “The advanced front midship layout”, which can maximize advantages of the RE.

“Freestyle Door” without center pillars, featured in an upperbody package and delivering a seating package for four adults and sports car styling, has realized both sports car performance and a sufficient interior / trunk space, which previous sports cars have never provided.

* 1, 2 コンセプト・プラットフォーム基本設計部
Concept/Pre-Program Platform & Program Engineering Dept.

1. はじめに

マツダでは1990年初頭から、次世代RX-7を想定して先行技術開発活動を進めてきた。その活動は、21世紀のスポーツカーとしてその価値を大幅に高めるため、プラットフォームを新規に開発し、革新レベルにまでそのポテンシャルを向上させることを目指した。

RX-8はスポーツカーの新ジャンルを開拓すべく、4ドア4シータとして開発された。しかし、それは同時にスポーツカーとして運動性能/スタイリング面で相反する要素を持つこととなり、前述の革新的プラットフォームと機能的アッパーパッケージがなければ成立し得なかった。

本稿では、この革新的プラットフォームと機能的アッパーパッケージについて、開発の経緯も含めて紹介する。

2. 基本パッケージコンセプト

2.1 プラットフォームの開発テーマ

(1) 「究極のFun」とは？

マツダスポーツカーの最も重要なDNAは“意のままに操る、楽しさの追求”であり、RX-8もこのDNAを受け継いだ上で、次世代スポーツカープラットフォームの第一弾として大幅進化させた。

達成感	… 困難な場面をクリアしたことで現れる感覚。
本能の解放	… 現実社会で抑制された本能の解放。
優越感	… 他の人より優れた存在である気持ち。
臨場感	… 本場とその場面に接したような感覚。
探究心の満足	… 次にどうなるかという期待感。
爽快感	… 頭の中のもやもやがなくなり、体中に集積る、快さ。
スリル	… ぞくぞくすること。わくわくすること。

Fig.1 Definition of “Fun”

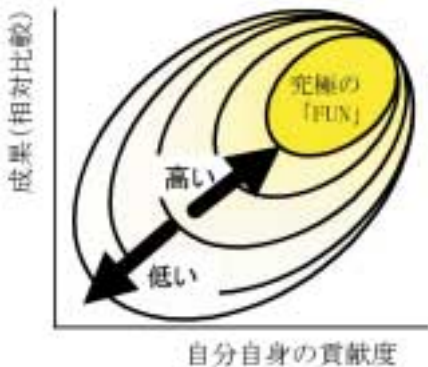


Fig.2 Image Map of “Ultimate Fun”

次世代スポーツカープラットフォームを開発するにあたって、まず、“楽しさ”すなわち“Fun”を定義づけた。

“Fun”は、達成感、優越感、爽快感、スリル等で構成されているが、この中でも、達成感が最も重要な要素と考えられる (Fig.1)。例えば、ジェットコースターに乗った場合、確かに爽快感やスリルはあるが、そこに自分の努力が存在しないため、達成感が得られず、本当のFunを享受することができない。

最も楽しい状態、言わば“究極のFun”とは、「難しく困難な局面を自らの手でコントロールし、その結果が他人に対して優位性があること」と考えられる。Fig.2のイメージマップの横軸は自分自身の貢献度、縦軸はその成果で、右上の部分が“究極のFun”の状態である。

それをドライビングに当てはめると、ドライビングにおける“究極のFun”とは、「ドライバ自身が車をコントロールする実感を持ち、その結果が速さを生み出すこと」と考えられる。ただ単に、アクセルを踏んで他人より速く走れても“究極のFun”は得ることはできない。

(2) 従来スポーツカーのジレンマ

“究極のFun”を最も得られるのはコーナリング中である。従来スポーツカーのジレンマは、“速い車は操れない。操れる車は遅い”ということである。

例えば、RX-7はコーナリング最大Gは高い反面、コーナリング限界付近で自由に操るには高いドライビングスキルを要する。一方ロードスターのコーナリング最大Gはそれほど高くないが、コーナリング限界付近まで操りやすい (Fig.3)。

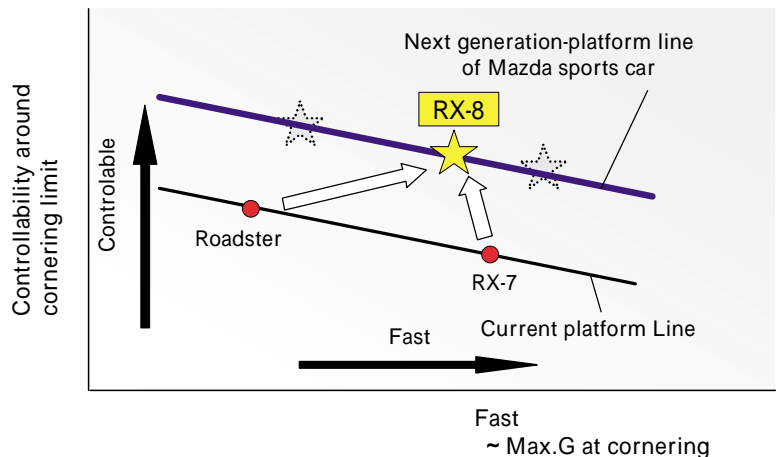


Fig.3 Controllability Around Cornering Limit

2.2 パッケージ上のキーポイント

1990年初頭から次世代スポーツカープラットフォームを創るに当たって、究極のFunを一人でも多くのドライバに享受してもらうために、“速さとコントロール性の両立”をメインテーマに取り組んだ。



Fig.4 Prototype to Study Dynamic Performance

向上項目	注力項目	次世代スポーツプラットフォーム (RX-8)	RX-7
コーナリング 限界付近の コントロール性	ヨー慣性モーメントの低減	☆☆	
	(High Response RE)	☆☆	○
	良好な前方視界	☆	○
	適切な重量配分	☆	☆
コーナリング 速さ	高剛性	☆	○
	軽量化&コンパクト化	○	☆
	低重心	○	☆

Fig.5 Impact of Package Specification on Speed and Controllability



Fig.6 RX-01 (1995 show car)

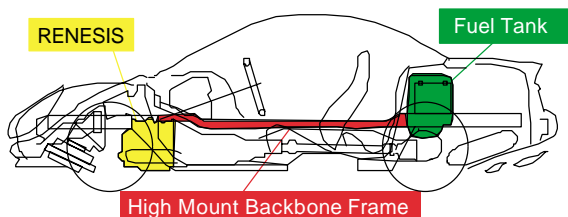


Fig.7 RX-01 (1995 show car) Overall Package

その具体活動として、我々はまず、速さとコントロール性に対するパッケージ諸元の影響を、マツダが保有するドライビングシミュレータや試作車を用いて検討を行った (Fig.4)。

その結果、速さとコントロール性を高い次元で両立させるためには、ヨー慣性モーメントの大幅な低減が効果的であることが分かった (Fig.5)。

3. プラットフォームパッケージ

従来のRX-7で追求してきた50:50の重量配分や低重心パッケージに加えて、ヨー慣性モーメントを大幅に低減するための具体手段の構築に取り組んだ。

その結果は1995年のショーカーRX-01で発表した。RX-8の新プラットフォームは、このRX-01のレイアウトを踏襲&進化させたものである (Fig.6, 7)。

そのレイアウトのコア技術を以下に紹介する。

3.1 アドバンスドフロントミッドシップレイアウト

ヨー慣性モーメントを大幅に低減するためには、エンジン搭載位置が重要な要素である。そのために、REのパッケージ上の特徴をI4, V6等のあらゆるレシプロエンジンと徹底的に比較分析することで明確化した。

その結果生まれたのが、REのメリットを最大限に活用する「アドバンスドフロントミッドシップレイアウト」である。これは、RX-8のプラットフォームの最も重要なコア技術である。

(1) アドバンスドフロントミッドシップレイアウトの概要

Fig.8はエンジンの側面を示した図で、左側がI4のレシプロエンジン、右側がREである。吸気系まで含めると、REとI4の高さはほぼ同じである。しかしエンジンブロック本体を比較すると、REがI4に対して約250mmも小さく、ほぼトランスミッションと同じ大きさである。

このRE本体のコンパクトさに着目し、エンジン本体と吸気系を前後にオフセットさせ、オイルパンを薄型化することで、RX-7に比べて、エンジン本体を60mm後方に、40mm下方にレイアウトすることが可能となった (Fig.9)。

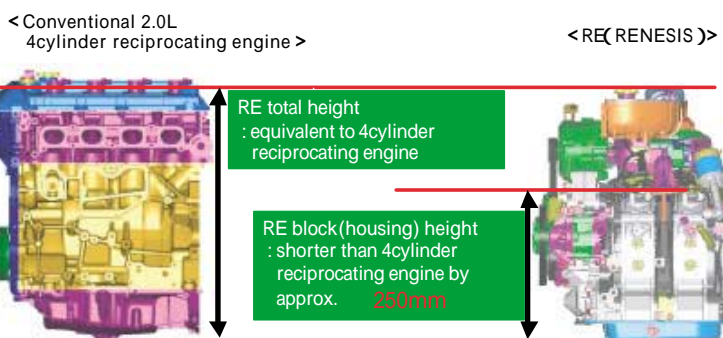


Fig.8 Comparison of Engine Height between 4cylinder Reciprocating Engine and RE

エンジンの60mm後方化に加えて、ダッシュパネルと乗員位置を80mm前方に移動させることで、エンジンと乗員距離を140mm短縮させている (Fig.10)。要するに、REをトンネルの中に140mmも押し込んだレイアウトである。

(2) 低ヨー慣性モーメントパッケージ

Fig.11に示すように、アドバンスドフロントミッドシップレイアウトに加えて、フューエルタンクをホイールベース間にレイアウトし、パンク修理キットの採用でスペアタイヤレスとした。その結果、重量配分はRX-7と同じ50 : 50をキープしつつ、ヨー慣性モーメントはRX-7に対して5%、競合トップに対して10%も低くすることができた (Fig.12)。

(3) 高いパッケージ効率

アドバンスドフロントミッドシップレイアウトにより、全長4.4mのコンパクトなサイズで大人4人がしっかり乗れる居住性が実現できている。

一般的にフロントミッドシップレイアウトはエンジン搭載のために、フロントアクスルとドライバ間の距離が長い。RX-8のフロントタイヤ~ドライバ間の距離は526mmと他社のフロントミッドシップレイアウトに対して180mmレベルも短い。トンネルの中にエンジン本体を入れられること、これがREのみが可能で、高効率レイアウトである。

Fig.14は後席居住性の保証レベルを示す。前席にドライバが乗った状態で、後席にどんな体格の人間が乗れるかを表している。RX-7等のスポーツカーの後席居住性は最大でも子供一人が乗れるレベル (ピンクのゾーン) であるのに対して、RX-8はスポーツセダン並みに男性2名がしっかり乗れる後席居住性を確保できている (ブルーのゾーン)。

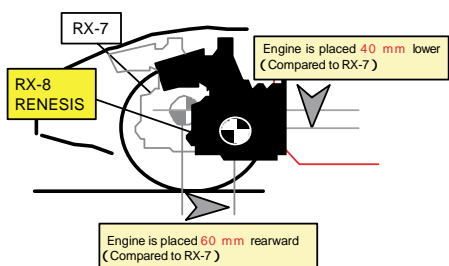


Fig.9 Advanced Front Midship Layout (side view)

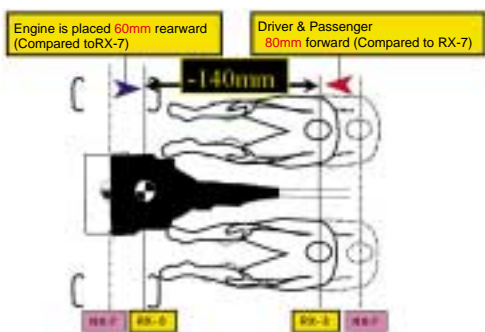


Fig.10 Advanced Front Midship Layout (top view)

(4) デザイン&視界面のアドバンテージ

アドバンスドフロントミッドシップレイアウトはヨー慣性モーメントの低減だけでなく、デザインや視界面でも優位性がある。

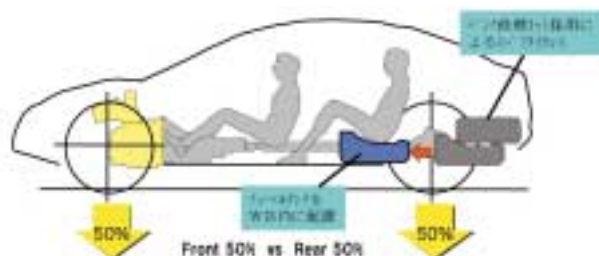


Fig.11 Low Yaw Inertia Package of RX-8

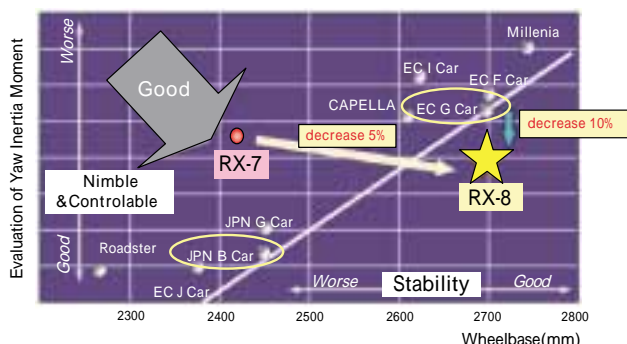


Fig.12 Yaw Inertia Moment of RX-8

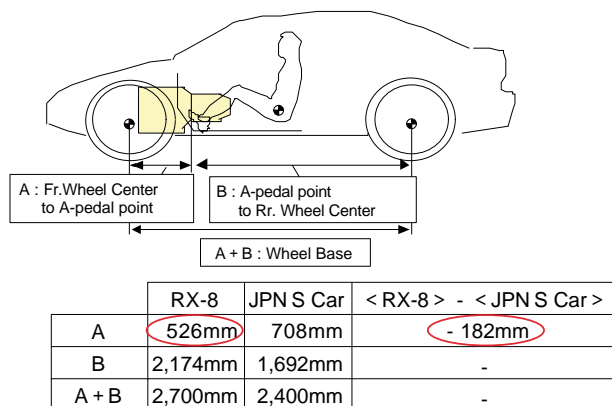


Fig.13 Package Efficiency of RX-8

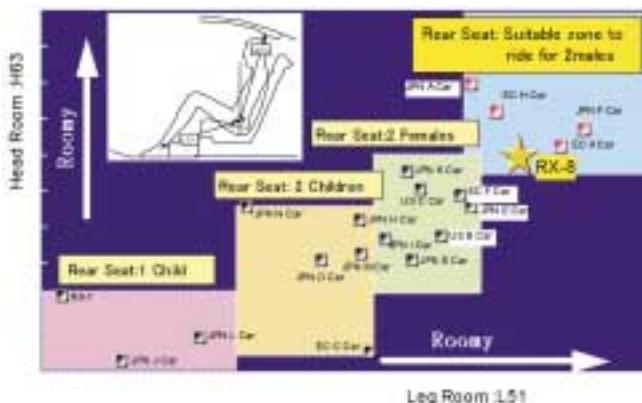


Fig.14 Range of Rear Occupants Guaranteed by each Model

Fig.15は横軸が全高で、縦軸が前方下方視界を示す。通常のスポーツカーはハイパワーエンジン搭載によりボンネットが比較的高い割に、低全高/低重心のため乗員位置を低くレイアウトするので、前方下方視界はセダンに対して不利な傾向にある。

RX-8はアドバンスドフロントミッドシップレイアウトによって、低ボンネット化でき、低い全高とセダン並の前方下方視界を両立した。

3.2 ハイマウントバックボーンフレーム

ボデー剛性を飛躍的に向上させる「ハイマウントバックボーンフレーム」を採用した (Fig.16, 17)。これも1995年のRX-01から踏襲した技術である。

アドバンスドフロントミッドシップレイアウトによってエンジン搭載位置を低くしたことは、前節で紹介した。これによって生み出されたトンネル上部の空間に、閉断面を形成し、前後のメインフレームと結合することで、質量アップを抑えながら、RX-7に対して、曲げで1.7倍、捻りで2倍という、大幅な静剛性アップを実現した (Fig.18)。

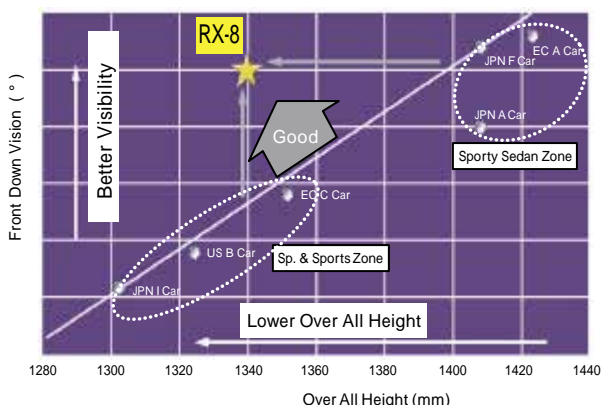


Fig.15 Realization of Lower Overall Height and Front Down Vision by Advanced Front Midship Layout

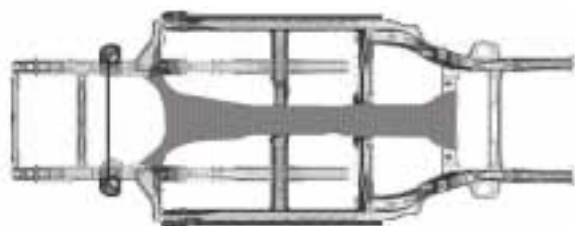


Fig.16 High Mounted Backbone Frame (Top View)

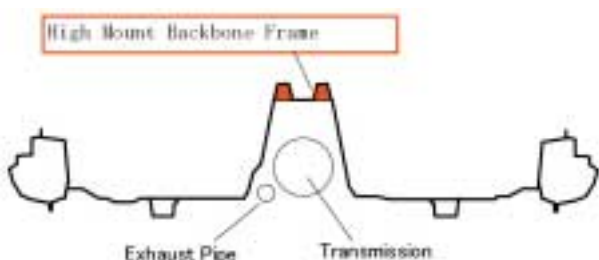


Fig.17 High Mounted Backbone Frame (front section)

3.3 その他のプラットフォーム主要技術

パワートレインを一直線に配置して、駆動系の振動を低減させている (Fig.19)。さらにそれらを閉断面のパワープラントフレームで連結することでダイレクト感を強化した (Fig.20)。

また、エンジンやデファレンシャルのマウントスパンを拡大し、NVHとダイレクト感を高い次元で両立した。具体的にはRX-7に対してエンジンマウントで266mm、デフマウントで71mm、スパンを拡大している (Fig.21)。

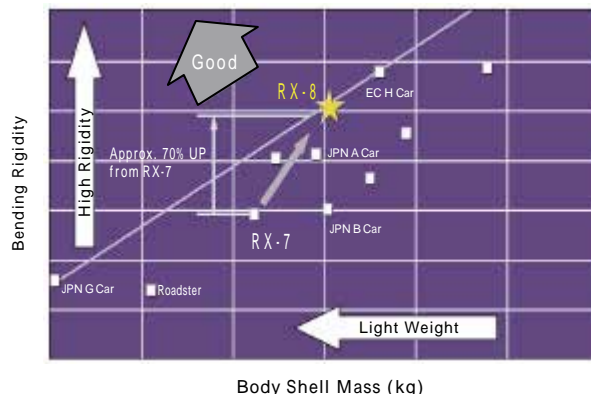


Fig.18 Bending Rigidity vs. Body Shell Weight

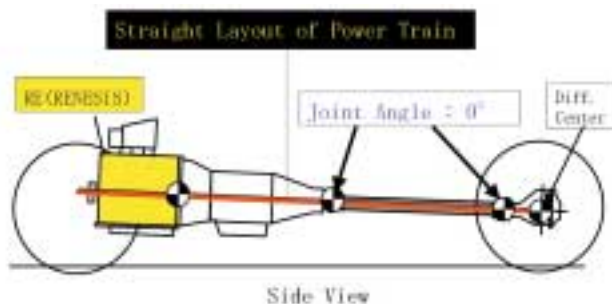


Fig.19 Straight Layout of Power Train

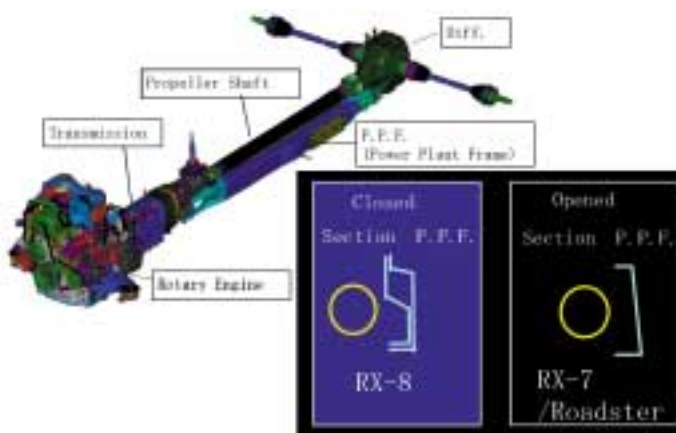


Fig.20 Closed Section of Power Plant Frame

4 . RX-8のアップパッケージ

4.1 フリースタイルドア

スポーツカーデザインと大人4人の空間を両立するセンターピラーレスのフリースタイルドアを採用した (Fig.22)。

これによって、ホイールベースの拡大を抑え、スムーズな乗降性を実現した。フリースタイルドアはセンターピラーがないこと、観音開きであることから、後席乗降時の足の出し入れが非常にスムーズに行える。コンベンショナルタイプのリヤドアに対して、後席の乗降性のための前後スペースが約150mmも有利になった。

また、フリースタイルドアは後席スペースへの荷物のアクセスに対しても、コンベンショナルタイプのリヤドアに対して優位性がある。例えば、カバンやジャケットなどを後席に置く場合も、今までのようにリヤドアに回り込む必要がない。日本国内で装着が義務付けられたチャイルドシートについても、ISO-Fix対応と相まって、装着が極めて容易である。

4.2 充実した収納スペース

RX-8は従来のスポーツカーでは考えられないほど、充実した収納スペースを持たせている。室内は、サングラスホルダの他、トンネル上には前席と後席用に各々2個のカップホルダを設けた (Fig.23)。もちろん、シフトの操作スペースと両立させている。トンネル上にはさらに、前席と後席用にそれぞれ一つずつ小物入れを設定した。前席側には電源のパワーアウトレットを設け、携帯電話の充電などの利便性を向上させた。また、後席シートバック中央にはトランクスルー用のフタを設け、そこに救急箱などが入るボックスを設定した (Fig.24)。

トランクはボデー剛性に有利な独立タイプを採用した。更に、スペアタイヤレスにすることとリヤフロア形状を深底型にすることで、RX-7に対して130mmも短いオーバーハングにも関わらず、日常生活に十分使える荷室を設けた (Fig.25, 26)。容量は290L (DIN) あり、スーツケースが2個、又はゴルフバッグが2セット搭載可能で、トランクスルーを使って、スキーやスノーボード等の長尺物の搭載が可能である。

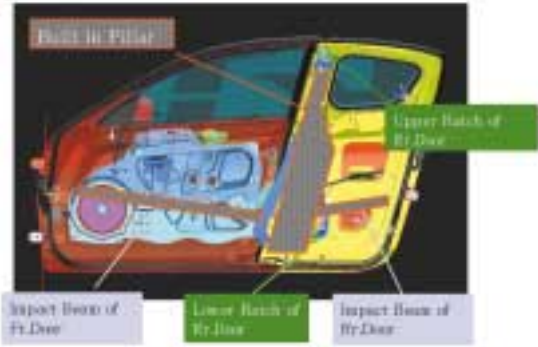


Fig.22 Freestyle Door



Fig.23 Cupholder Above Tunnel
(Right : Front seat, Left : Rear seat)



Fig.24 Center Trunk Through & Center Lid with Storage Box

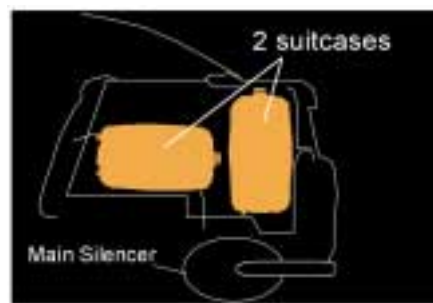


Fig.25 Deep Bottom Trunk

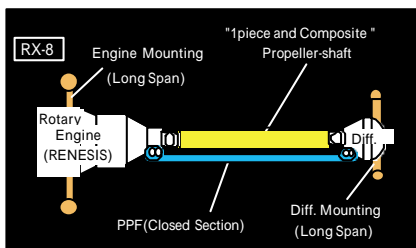


Fig.21 Wide Span Mount of Power Train

	Mounting Span	
	RX-8	RX-7
Engine Mounting	716mm (+266mm)	450mm
Diff. Mounting	421mm (+71mm)	350mm



Fig.26 Deep Bottom Trunk
(Left : Suit case, Right : Golf bag)

5. おわりに

RX-8はRX-7から大幅に革新されたプラットフォームと、機能的アッパーパッケージの融合により、まったく新しいスポーツカーパッケージを実現している。特にプラットフォームについては基本骨格の素性の良さで、次世代スポーツカーの規範となり得るものと自負している。

著者



任田 功



中村幸雄

特集：RX-8

10

RX-8のダイナミクス Dynamics of RX-8

小宮 勝行*¹

Katsuyuki Komiya

景山 文雄*³

Fumio Kageyama

来島 光利*⁴ 清水 勝矢*⁵

Mitsutoshi Kijima

Katsuya Shimizu

要約

“New 4Door Sports for 4Adults”という基本コンセプトを実現するため、RX-8では、比類ないスポーツドライビングプレジャーを提供する優れたコントロール性とハンドリング、そしてロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求した。

サスペンションは、フロントにダブルウィッシュボーン式、リヤにマルチリンク式を採用し、リニアなジオメトリ変化、コンプライアンス特性の最適化を図った。ステアリングにはラックドライブ式電動パワーステアリングを採用し、低速から高速まで自然で違和感のないしっかりしたステアリングフィールを実現した。リヤの高剛性サブフレームには6点ラバーマウントを装着し、操縦安定性向上とロードノイズ抑制を両立した。

スポーツサスペンションのフロントブレーキには、17インチサイズの大径ベンチレーテッドディスクを採用し、スポーツドライビングをサポートする高い制動能力を確保した。

ボデーは、センターピラーレスであることを感じさせない高いボデー剛性と操縦安定性を実現するため、ボデー全体の静的な曲げ剛性や、ねじり剛性ととも、運動状態での変形解析による局部剛性の向上に取り組んだ。そして強固なアンダーボデーフレームワークやキャビンの効果的な補強を行うことによって、高剛性・軽量ボデーを実現した。

Summary

In order to realize a basic concept of “New 4-Door Sports Car for 4-Adult”, in RX-8, we had thoroughly pursued superior controllability and handling which presents incomparable sports driving pleasure, and ride comfort such as reduction in road noise, thus having improving them significantly.

Double wishbone type is adopted for a front suspension, and multi-link type is adopted for a rear suspension respectively, which produces a linear geometry change and optimizes a compliance characteristic. The adoption of a rack-drive type electric power steering has realized natural and stable steering feel without strange feeling from low to high speeds. A rear high-rigidity sub-frame is equipped with six rubber mounts, thus achieving steering & handling improvement and road noise restraint.

For the front brake of a sports suspension, a 17-inch large-diameter ventilated disc is adopted to ensure braking power high enough to support sports driving.

For a body, in order to realize so high body rigidity that is absolutely unthinkable in a center pillar-less body and driving stability, static flexural rigidity and torsional rigidity of the whole body have been improved, as well as local rigidity improved by dynamic transformation analysis. Furthermore, strong underbody framework and effective reinforcement of cabin have realized a lightweight body with high rigidity.

* 1 ~ 3 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

* 4 ボデー開発部
Body Development Dept.

* 5 NVH性能開発部
NVH Development Dept.

1. はじめに

RX-8では、比類ないスポーツドライビングプレジャーを提供する優れたコントロール性とハンドリングそしてロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求すべく、次の項目を開発ターゲットとして取り組んだ。

- ① 操縦安定性
 - ・一般走行でも楽しさを感じられる切れのある動き
 - ・限界までコントロールしやすくリニアな操舵フィール
 - ・高速まで抜群に収まりのよい安定感
- ② 乗り心地
 - ・剛性感とフラット感を重視し更に角感がなく質感の高い乗り心地を実現
- ③ 制動性能
 - ・レスポンスが良くリニアなブレーキ性能を実現
- ④ 静粛性
 - ・ロードノイズの大幅低減

これらを実現するため、プラットフォームのあり方を一から検討し、シャシーおよびボデーを新開発した。

本稿では、新開発したサスペンション、ステアリング、ブレーキ、ボデーの構造と特徴、達成した車両性能/システム特性について紹介する。

2. シャシー

2.1 サスペンション・ステアリング

(1) 開発の狙い

サスペンション・ステアリングについてはハンドル入力に対する車両のレスポンスやリニアな応答を高めるため次の項目を注力ポイントとした。

- ① ジオメトリ/コンプライアンス特性の最適化
- ② ダンパ・ばねの高効率レイアウト
- ③ サスペンション取付部材の高剛性化
- ④ ボデーへの振動入力の低減

(2) 特徴と構造

① フロントサスペンション・ステアリング

フロントサスペンションにはジオメトリやコンプライアンスの最適化を図るべくインホイールタイプ・ダブルウィッシュボーン形式 (Fig.1) を採用した。軽量・高剛性とするためアッパーアームをアルミスクイズキャスト、ロアアームをアルミ鍛造製とした。アーム長はアッパー、ロアともにRX-7よりも約32mm長くし、限界域までリニアなアライメント変化を実現した。

アッパー/ロアアームのクロスメンバー側取付には、新開発のストップクリアランスゼロ構造 (Fig.2) のラバーブッシュを採用。これにより前輪に入る外力によってアームに発生する前後方向の動きを抑制し、かつ、ブッシュのばね特性を初期からリニアに立ち上げることができ、コンプライアンスの挙動を常に最適に

コントロールすることを可能にした。

ショックアブソーバにはハードな走行にもエアレーションやキャビテーションの発生を抑制し、常に安定した減衰力を発生する高圧ガス封入式モノチューブダンパを採用した。オイルの圧力変動に対するレスポンスを高め、しっかりとしたストローク感と減衰感を得るため、ピストンを大径化するとともに、ピストンのポート形状を大口径とし、乗り心地との両立を図った。

ステアリングには、ピニオン軸にトルクセンサを、ラック同軸にモータを配したラックドライブ式電動パワーステアリング (Fig.3) を採用し、フリクションやピニオン軸回りのイナーシャを低減して、スポーツカーにふさわしい俊敏でダイレクトな操舵フィールを実現した。また、日常ユースの快適性を確保するため、据え切り時の操舵力をRX-7から約20%低減した。



Fig.1 Front Suspension

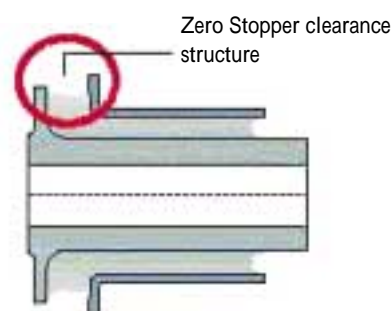


Fig.2 Zero Stopper Clearance Structure



Fig.3 Rack-drive Type Electric Power Steering System

② リヤサスペンション

リヤには5本のリンクを持つ新開発のマルチリンク式サスペンション (Fig.4) を採用した。走行時の外力に対して、常に理想的なジオメトリ変化を実現するため、各リンクをロング化するとともに、それらのレイアウトを最適化し、ハイレベルな操縦安定性と乗り心地、更にロードノイズの低減を追求した。

まず、タイヤの微小ストローク域でも効率よく減衰力を発生させるため、ホイールストロークに対するダンパストロークの比率を1:1とするようにダンパ下端を直接ハブサポートに締結するレイアウトを採用した。

また、コイルスプリングを床下配置とし、ダンパロッドに対するスプリング横力を減少させてフリクションを低減すると同時に、トランクルームの幅方向のスペース拡大にも貢献している。ダンパはフロント同様、大径ピストンの高圧ガス封入式モノチューブを採用している。

このマルチリンクサスペンションの最大の特徴は、リンク類とダンパの位置関係を最適化することにより、タイヤの上下荷重に比例したトーインモーメントおよびネガキャンバモーメントを発生させ、各リンクにあらかじめ荷重を付与した点である。これにより各リンクのラバーブッシュやボールジョイントは、常に片側に押し付けられているため、センター付近の微小な遊びといった不感帯を除去し、常にリニアな特性を使うことができ、操舵に対する応答遅れを最小限に抑えるとともに、外乱に対するタイヤの不要な動きを抑制することが可能となった。

このトーインおよびネガキャンバのモーメント発生概念について次に説明する。

i) トーインモーメントコントロール (Fig.5)

リヤダンパは上部を車体側に、下部をハブキャリアに締結し、ダンパの中心線 (ダンパ軸) が、5本のリンクの配置によって決定される仮想キングピン軸に対して、車両外側かつ後方で交差するようレイアウトした。これにより、後輪のスプリングの反力によって、後輪には常に仮想キングピン軸を中心として進行方向の内側に向くトーインモーメントが発生することになる。

ii) ネガキャンバモーメントコントロール (Fig.6)

ダンパをタイヤ中心に対して車両内側へオフセットした配置とすることで、オフセット長に掛かる上下荷重に比例したネガキャンバモーメントが発生する。そのモーメントに釣り合うようにロアおよびアッパーのラテラルリンクには、常にイニシャル荷重が加わっている。

またこのマルチリンクには、フロントサスペンシ

ョンと同様に、ロングリンクを採用した。

アッパーのラテラルリンク長は289.6mmで、RX-7のダブルウィッシュボーンアッパーアームより76mm長く、ロアのラテラルリンク長は529mmで、RX-7のロアアームに比べ実に約173mmもロング化した。これにより、アライメント変化率を少なくし、かつ、リニア化を実現した。また、ロングリンク化により、後輪の上下動に伴ってサブフレーム側締結部のラバーブッシュに加わるねじれの負荷を減少させ、後輪のスムーズな上下動を実現し乗り心地にも大きく貢献している。



Fig.4 Rear Suspension

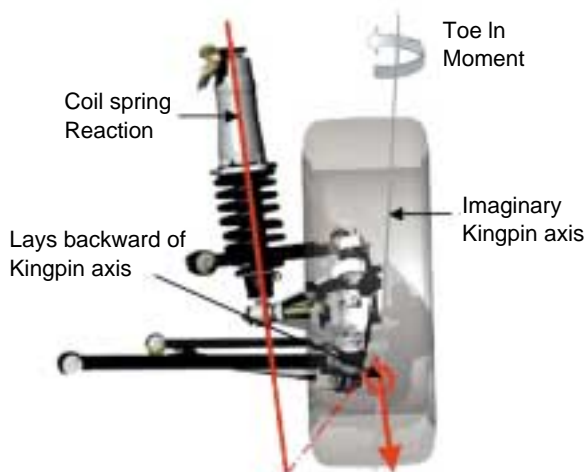


Fig.5 Toe in Moment Control

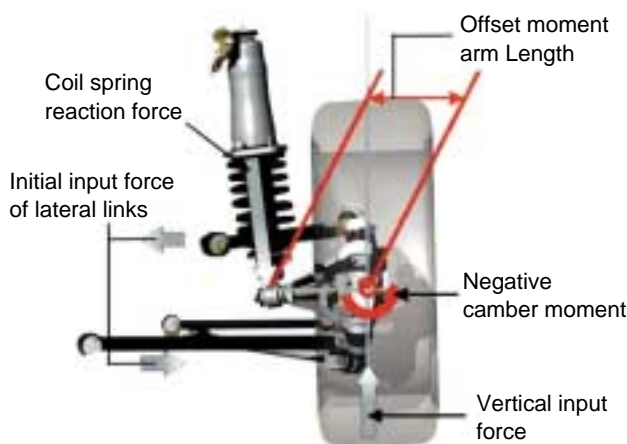


Fig.6 Camber Moment Control

リヤサスペンションをマウントするサブフレーム（溶接一体構造）は、両サイドのハイドロフォーム製の立体的なブーメラン型サイドメンバと、それらを結ぶ前後のクロスメンバで構成されており、サイドメンバの前後端と中央の3カ所（両側で計6カ所）に、3次元的な3角形を形成するようにストップクリアランスゼロ構造のラバーマウントを配置している（Fig.7）。

この独自の構造により、横力入力時のサブフレームの回転を抑え込んで高いキャンバ剛性を確保しながら、ラバーマウントをやわらかくすることが可能になり、高い操縦安定性ととも、振動の伝達を抑え込んだ上質な乗り心地と、ロードノイズの低減を実現した。

(3) 達成性能

① 操縦安定性

Fig.8は操縦安定性能の評価結果を示す。

操縦安定性の全体ポテンシャルは非常に高くRX-7の軽快なハンドリングをほぼ維持しながら、特に操縦の正確さ、剛性感、安定性が大きく向上している。

② 乗り心地

Fig.9は路面突起を通過した時の、突き上げショックの大きさをフロアの上下振動加速度で表したものである。グラフの左側の山は前輪が突起を乗り越えた時の振動、右側が後輪の振動。RX-8は 加速度ピークレベルが小さく、突き上げショックが小さいことが分かる。

Fig.10はうねり路を走行した時の、車両のフラット感を評価したものである。他銘柄車にくらべ加速度ピークが低く、ボデーの動きが少ないことが分かる。このように、不快な突き上げを抑えながら、フラットでしっかりした乗り心地が実現できている。

③ ロードノイズ

Fig.11は60km/hで粗粒路を走行したときの運転席窓側のロードノイズ音圧レベルを示す。225/45R18タイヤを装着したスポーツサスペンションは十分競合できるレベル、225/55R16タイヤを装着したスタンダードサスペンションでは、ほぼトップクラスの静粛性を実現している。

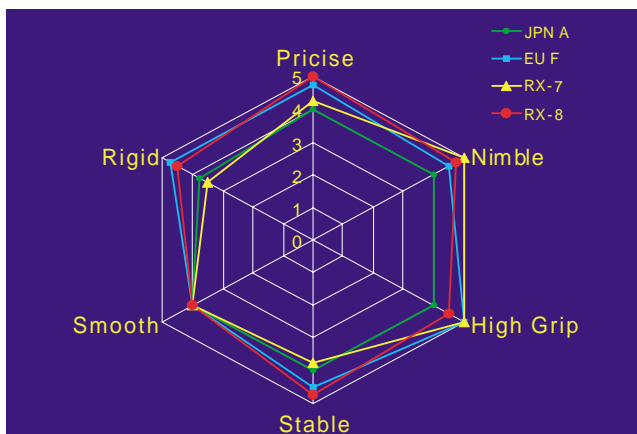


Fig.8 Steering & Handling-Evaluation

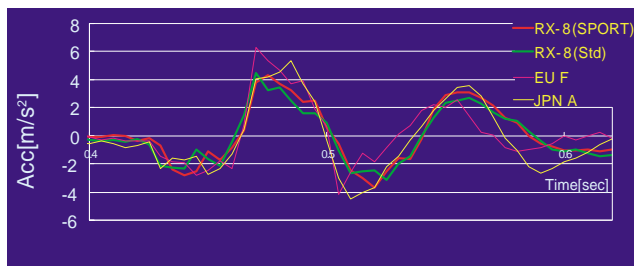


Fig.9 Floor vibration at bumping (50km/h)

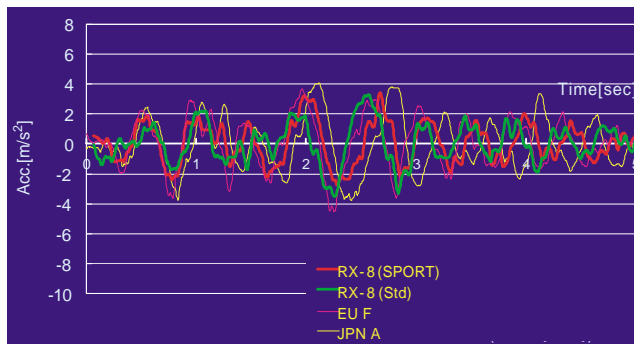


Fig.10 Flat Feeling in High-speed Waving Road

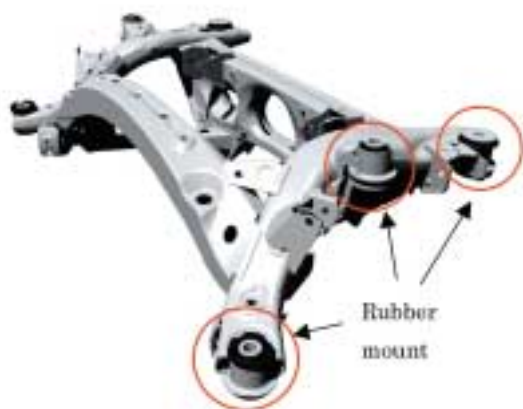


Fig.7 Rear Subframe

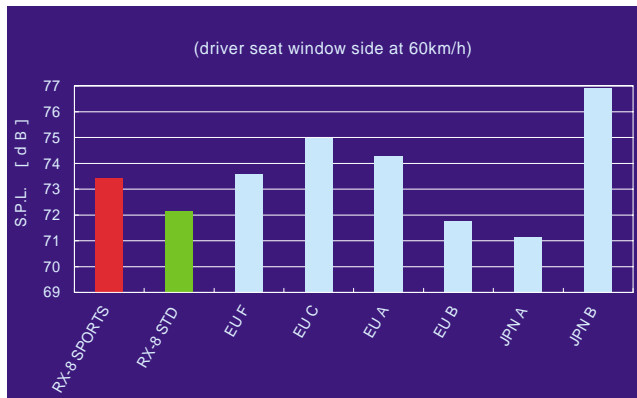


Fig.11 Road Noise OA

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

RX-8のブレーキ開発の狙いは、単純によく止まるブレーキではなく、「信頼感とスポーツドライビングプレジャーの創造」である。信頼感のあるブレーキとは、2002年5月に発売したアテンザでその答えを得ることができた。

それは、「レスポンス」「リニアリティ」そして「ストップピングパワー」の3つのキーワードからなる。レスポンスとリニアリティでは、ペダルを踏む力、ペダルストローク、そして減速度の関係において目標を定義した。

特にレスポンス領域ではロスストロークを低減させた上で、踏み初めのコントロール性を維持すること、リニアリティと減速の関係では、文字通り直線的になるのではなく、踏み不足につれ減速度が高まっていくようなカーブを達成することにこだわった。

また、ストップピングパワーについても、スポーツカードライビングを重視したチューンを行った。ペダル剛性感を高め、踏力コントロールを容易にすることを目標にし、フロントの大径ベンチレーテッドディスクと相まってスポーツドライビングをサポートする高い制動能力を確保した。これにより、RX-8はクラストップの制動停止距離を達成した。

(2) 構造と特徴

① ブレーキペダル/ブースタ/マスタシリンダ

マツダDNA実現のデザイン手法（アテンザより導入）となる低ペダル比、マスタシリンダ小径化を踏襲した。その手法の中で、よりスポーツドライビング実現のため、ペダル比は2.8、マスタシリンダ内径は22.22mmとRX-8の狙いにあわせてチューニングを施した。

マスタシリンダは、DSC（Dynamic Stability Control）システムとのマッチングを図り、ハイフロー対応¹のプランジャタイプを新規に開発した（Fig.12）。

また、バキュームブースタは大径シングル10インチサイズを採用し、高いサーボ限界を確保しスポーツドライビングをサポートしている。

② フロント・ブレーキ

スポーツサスペンション車（18インチタイヤ）はトップクラスの323mm大径ロータを採用し、スタンダードサスペンション車（16インチタイヤ）は303mmの2種類の新開発ブレーキを採用した。

③ リヤ・ブレーキ

スポーツサスペンション車とスタンダードサスペンション車ともに、ロータ径302mmベンチレーテッドのビルトインタイプブレーキを採用した。このブレーキは、オーバアジャスト防止機構を内蔵しており、

ハードなブレーキの繰り返しについても、オーバアジャストによるブレーキの引き摺りを防止している。

④ EBD / ABS / DSC

EBD（Electronic Brake force Distribution）とABSは全車標準装備とし、そのセッティングにあたっては、タイヤ性能を最大限引き出し、制動停止距離短縮と車両安定性の両立を目指しチューニングを施した。また、DSCについては、マツダの基本コンセプトである「効果的に横滑りを抑えながら、ヨーレートと操舵のスムーズさ」を目指しながら、RX-8のスポーツドライビングプレジャーを損なわないセッティングを目指した。

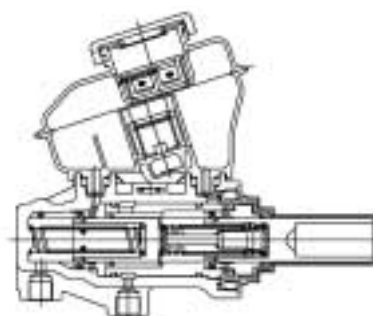


Fig.12 Master Cylinder

(3) 達成性能

① フィーリング性能

Fig.13は、踏力と減速度との関係、およびペダルラベルと減速度の関係を示す。RX-8のターゲットとしたスポーツドライビングの踏力コントロール性を確保し、優れた制動フィーリングを実現している。

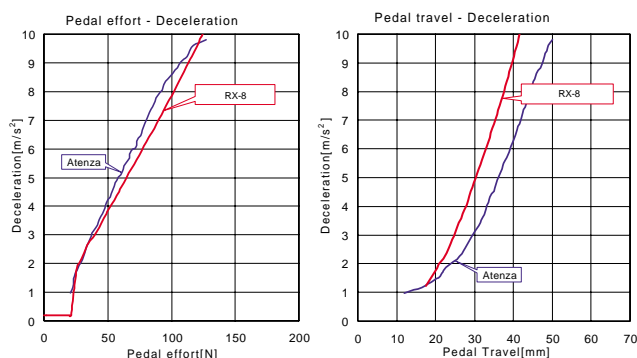


Fig.13 Brake Feeling Data

② 制動停止距離

Fig.14は、ヨーロッパの著名な雑誌が実施している評価条件下での制動停止距離の比較を示す（RX-8は同条件での社内測定値）。比較車中トップクラスの停止距離を実現している。

1 DSCポンプ用のブレーキ液を、マスタシリンダリザーブタンクから吸い込むため十分な流路を確保するもの

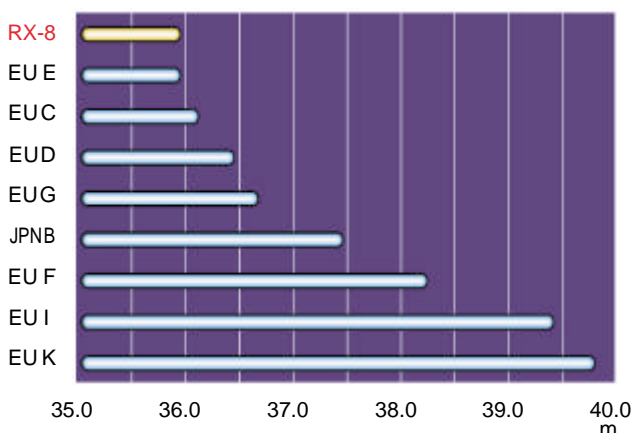


Fig.14 Stopping Distance

3. ボデー

(1) 開発の狙いと取り組み

RX-8のボデーシェル開発では、センターピラーレスフリースタイルドアという従来にない新しいボデー形式において、競合4ドアスポーツセダンを凌ぐ軽量・高剛性ボデーを実現することを目指した。剛性開発においては、ボデー全体の静的曲げ剛性やねじり剛性ととも、運動状態での変形測定解析により操縦安定性能と関連のとれた局部剛性の向上に取り組んだ。

テストコースでの走行と4輪多軸加振装置を用いた台上加振シミュレーションにおいて、ボデー各部のダイナミック変形を計測し、操縦安定性が向上するポイントを分析。かつ、コンピュータ解析によって、走行状態での車体への入力、それによる変形や歪みエネルギー分布を分析し、剛性向上の効果的な手段を追求した。

その結果に基づいて、強固なアンダーボデーフレームワークやキャビンの効果的な補強構造を構築することに注力し、センターピラーのないキャビンであることを感じさせない剛性感のあるボデーを開発した。Fig.15にボデー全体図を示す。

(2) 構造と特徴

① アンダーボデー構造

センタートンネル上部に、前から後まで同じ高さで閉断面のハイマウントバックボーンフレームを通し、これを中心に主要部材の最適配置と大断面化により高いプラットフォーム剛性を確保した。アドバンスドフロントミッドシップレイアウトにより可能になった、エンジンルーム内のフレーム間ヘクロスメンバによりフロントサスペンションの横方向支持剛性を高めた。加えて、フロントサスペンションタワー左右をつなぐフロントストラットタワーバーを装着し、フロントダンパの支持剛性とフロントボデー回りの局部剛性を高めた。

トンネル下の開口部には、左右をつなぐ3本のクロスメンバを設定した。これらは、操舵時の車体のねじ

れ変形を抑え、またフロントシートの支持剛性を高めて、操縦安定性フィーリングの向上に寄与している。

Fig.16にアンダーボデーのフレームワークを示す。



Fig.15 Body Structure Complete

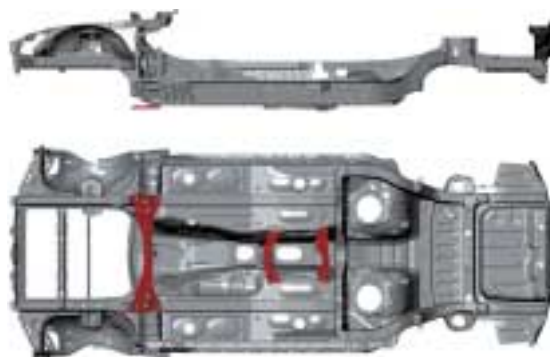


Fig.16 Underbody & Tunnel Member

② キャビン構造

サイドパネル内のレインフォースメントは、部位によって最適な板厚・材質に設定した5種の鋼板をあらかじめ溶接したうえで一体プレス成形するT.W.B. (Tailor Welded Blanks) 工法により、強固な環状の構造部材として形成した。同様にフロントピラーからリヤピラーまで3種の鋼板でT.W.B.したインナーパネルを組み合わせて、ドア開口まわりを効果的に補強し、軽量で高強度・高剛性のキャブサイドを実現した。Fig.17にキャブサイド構造を示す。



Fig.17 Cab-side Structure with T.W.B. Parts

さらに、ハイマウントバックボーンフレーム後端と左右リヤダンパの上部マウント部を結合する高剛性ブレースをV字型に設定した。これにより、ダンパの支持剛性とリヤボデー回りのねじり剛性を大幅に向上させた。

また、前後フレーム、サイドシル、クロスメンバ、フロントピラーの一部に590Mpaの高張力鋼板を採用した。ルーフパネルの中央を横断するルーフレインフォースメントは、普通鋼板をプレス成形した後、窒化処理（鋼板に含まれるチタニウムと窒素を化合物させる熱処理）により、材料強度を約1,000Mpaに上げる新技術を採用した。これらにより、剛性と強度のバランスを取り軽量化を図った。

(3) 達成性能

操縦安定性に関するボデーの変形として、Fig.18に示す部位を評価ポイントとして剛性向上を図った。Fig.19に4輪多軸加振装置による横振り加振での各部の変形量を示す。Fig.20はねじり加振におけるトンネル下の変形を時間軸で示したものである。これらのポイントの変形量は、前項で述べた構造の採用により、競合スポーツセダンに優るレベルに抑えることができ、スポーツカーとしての高い操縦安定性能に寄与する特性を達成できた。また、いかに重量を掛けずに剛性向上が実現できているかを静的全体ねじり剛性ベースでマクロ的に表すものとして、欧州で一般的に使用されている指標を用いてFig.21を示す。RX-8のボデーは競合多銘柄を超える軽量・高剛性を実現できている。

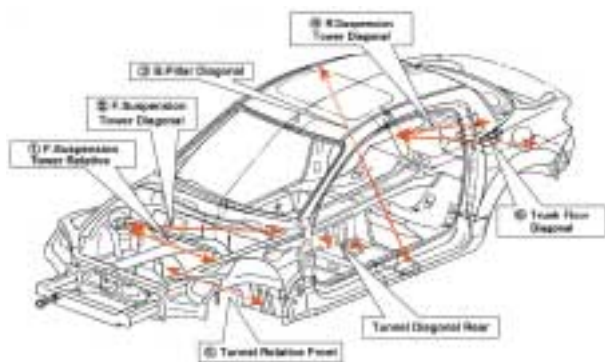


Fig.18 Evaluated Location

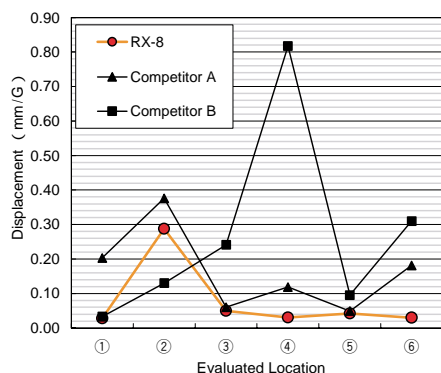


Fig.19 Body Rigidity

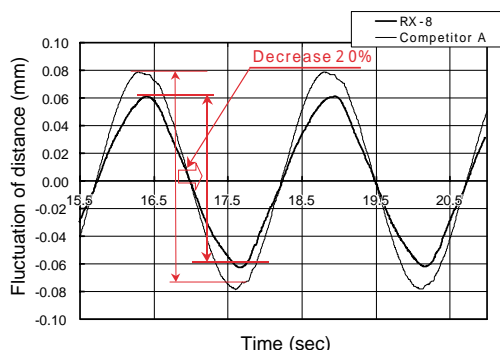


Fig.20 Deformation of Tunnel

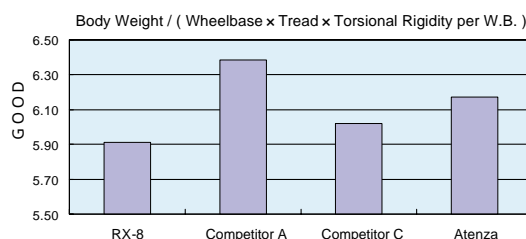


Fig.21 Index of Weight Efficiency

4. おわりに

以上、RX-8のダイナミクスについて狙いの性能と構造について簡単に紹介した。

“New 4Door Sports for 4Adults” という全く新しいコンセプトをシャシー、ボデーといった領域で実現するために、従来の技術、開発手法にとらわれず、新しい発想を持って意欲的に取り組んできた。そしてピュアスポーツの操縦安定性とスポーツセダン並の快適性を高い次元で両立させる『ダイナミックパフォーマンス革新』を実現した新しいプラットフォームを具現化することができた。

このプラットフォームはマツダスポーツカーDNAを象徴するにふさわしい高いポテンシャルを秘めていると確信しており、更に磨きをかけて進化させていく所存である。

著者



小宮 勝行



景山 文雄



来島 光利



清水 勝矢

特集：RX-8

11

フリースタイルドアの技術的要点 Technical Aspects of Freestyle Door System

守山 幸宏*¹ 伊藤 敦*² 石井 文雄*³
Yukihiro Moriyama Atsushi Itou Fumio Ishii
二関 隆*⁴
Takashi Niseki

要約

RX-8ではセンターピラーレスの車体構造に対し、フリースタイルドアと命名された観音開きのドア構造を採用した。この特殊なドア構造方式は、この車の特長であるスポーツカーとしてのスタイリングと後席への乗降性の両立を可能とし、この車の基本コンセプトである「大人4人が乗れる4ドアスポーツ」を実現する技術的な手段となった。この形式のドアにおいては、通常ドアと異なり、技術的に特別な配慮を要することとして、まず前後ドアの開閉時に、相互のドアが干渉しないようにドアヒンジのレイアウトを工夫しておく必要がある。また、この状態における開閉操作感改善への配慮も重要な技術課題である。この点で特に、センターピラー相当の補強部材をリヤドア内に取り込むことによるドア重量増加に伴う開閉操作感の悪化を防ぐため、リヤドア本体部分をアルミ化することによる総合的な重量軽減を織り込んでいる。ドアに対するアルミ材の適用と、センターピラーレスという車体構造による、側突時の安全性の保証が重要な開発課題であり、このリヤドアにおいては、センターピラー相当部分にビルトイン・ピラーと呼ぶ高張力鋼管による縦型インパクトバーを設定し、その上下をラッチによって車体に繋ぎ止めることで、通常のセンターピラーのある車体構造以上の側突安全性能を達成している。これら上下のラッチは、車内外から操作可能なひとつのドアハンドルでリリース操作でき、また、そのハンドル構造は誤操作を防止する上でシンプルかつユニークな構造としている。

Summary

The RX-8 has adopted a rear side hinge supported rear door without a center-pillar, known as the "Freestyle Door System". This unique door system provides both the styling expected of a sports vehicle and the ease of rear seat ingress/egress of a sedan. This door system has made a major contribution to realizing the concept of the "New 4-Door Sports Car for 4-Adult".

Several technical difficulties had to be overcome during the development of this door system. The hinge layout had to provide an adequate swing clearance between front and rear doors at all opening angles, and door operating efforts were to be kept to a minimum. For the operating efforts, the rear door was constructed from aluminum, instead of steel, to achieve a weight reduction.

Use of aluminum and the disuse of the center-pillar provided a significant technical challenge to comply with side crush testing. The solution comprises of a vertical impact-bar, known as the "built-in pillar", constructed of high-tensile strength steel pipe located in the front of the rear door. Latches are installed at both the top and bottom of the "built-in pillar" which allows transmission of side crush loading directly to the body. This structure results in greater strength and safety than the conventional body structure with center-pillar. The two latches are operated via a single releasing handle, which has a simple and unique fail-safe design.

* 1 ~ 4 ボデー開発部
Body Development Dept.

1. はじめに

RX-8にはセンターピラーのない観音開きの前後ドアという特殊なドア構造を採用した。このドアシステムを「フリースタイルドア」の呼称とし、この車の大きな特徴の一つとしてアピールしている。

この形式のドア構造は従来、日本では一般的ではないものの、海外においては主にピックアップトラックのストレッチキャビンのドア構造で実施例があり、マツダにおいてもタイ生産のピックアップトラックに近年この形式のドアを採用した。これは実質的にフリースタイルドアの先行開発となり、この開発における技術的な要点はRX-8のフリースタイルドアの設計開発に生かされている。

本文においては、これらの車種開発を通じて得られたフリースタイルドア構造における技術的な要点を述べ、その構造上の特徴を紹介する。

2. フリースタイルドアのメリット

スポーツカーは速く走れそうなスタイリングの方がよい。それならば4ドアよりも2ドアの方がよりキャビンを短くでき、スポーツカーらしいスタイリングにできる。しかし2ドアは後席の乗り降りがしにくい。RX-8の基本コンセプトは「大人4人が乗れるスポーツカー」ということにあった。スポーツカーであるからには動力性能と走りの実現は当然として、まずスポーツカーらしいスタイリングにしたいというのがデザイナーの思いである。これまでも、コスモ、RX-7と受け継いできたマツダのスポーツカーのスタイリングは2ドアをベースとし、太い台形リヤピラーとすることを基本としている。

今回のRX-8においてもこの基本イメージを踏襲したキャビンを小さく見せるスポーティなスタイリング創りを行った。その結果、リヤドアの窓は逆台形形状となり、どこから見ても2ドア風の流麗なスタイリングが基本となった。これに大人4人を乗せるとなると、まず後席の乗降性、居住性を確保しなければならないが、このためには2ドアでは不都合である。しかし、改めてこれを4ドアとなるようにデザイン修正すると、この車に求められるスタイリング・コンセプトを大きく損なってしまうことになる。そこで到った結論が、リヤドアを観音開きとして前側を開くこと。そしてセンターピラーを廃止して、フロントドアを開いた時は一つの大開口になるドア構造を採用することである (Fig.1)。これによって、ドアを開いた時の圧倒的な開放感を実現するとともに、後席乗降時にフロントドアの開口エリアまで効率よく使うことができ、最小限の大きさのリヤドアで後席の乗降性を確保することが可能となった。事実、リヤドアの前後長は通常ドアの70%程度しかない。また、後ろヒンジであることから開閉操作ハンドルをドア前縁に設置でき、しかもフロントドアを開いた状態での操

作を前提としていることから、通常は車外から操作ハンドルを見えなくすることができた。

前後ドアの開閉操作には順序性があり、ドアを開く場合にはフロントドアを先に開いてからリヤドアを開く。閉じる場合はこの逆である。これは構造的に見ると、前後ドアをセンターピラー相当部分で重ね合わせることで車体からセンターピラーを廃止したことによるものであるが、実用安全上は、走行中に前開きのドアが不意に開いて走行風圧で全開してしまう危険性を避ける配慮によるものであり、この構造要件はヨーロッパでは特に法規で規定されている。

フリースタイルドアはスタイリングと後席への乗降性の両立を図るための手段として有効であるが、これは同時に後席側へのアクセスを容易にする。たとえばコンビニエンスストアなどでのちょっとした買い物を、後席に置いておきたい時や、通勤外出時の上着やバッグの取り出し、あるいは後席に装着が推奨されるチャイルドシートへの子供の乗せ降ろしの補助と装着の際に大きな利便性を発揮する。このように後席へのアクセスのしやすさという点においては、通常の4ドアよりも使い勝手が良い場合も考えられる。

3. フリースタイルドアのレイアウト上の特徴

観音開きドアのレイアウトで、まず考えなければならないのは開閉時の前後ドア同士の干渉問題である。これには大きく分けて2種類の問題があり、第一に前後ドアを閉める順序を誤った場合の干渉問題。第二に閉める順序は正しいものの、ほぼ同時に前後ドアを閉めようとした場合に相互のドアのエッジ部分同士がドア全閉直前に干渉する問題である。第一の問題の場合、干渉する部分はシールラバーやトリム部材などの柔らかいものであることと、操作途中で明らかに干渉が予測できることから、実害が生ずる可能性は低く、深刻な問題ではない。



Fig.1 Freestyle Door

一方、第二の問題は通常のドア閉めの操作過程で生じる問題であり、干渉することそのものを認識しにくく、最悪の場合、干渉時に塗装面へのダメージが発生することから、その防止は特に重要である。以下にこの第二の問題の防止策を述べる。

通常のドアであれば各ドアはそれぞれ開閉作動範囲が独立しており相互に干渉することはないが、観音開きでは前後ドア端部の開閉軌跡の範囲が空間内で重複しており (Fig.2) この範囲をスイングする際はドアのエッジ同士が干渉する可能性を示している。これは冷蔵庫や家の扉のような平板による扉では問題とならないものであるが、自動車のような自由曲面による外板面で構成された扉構造ではこれを完全に回避することが困難である。原理的にはドアの端末同士を遠ざけること、すなわちドアとドアの間隙 (見切り隙) を広げることによって解決できるのであるが、外観上の問題から採用するわけにはいかない。

そこで、この問題への現実的な対応を考えるため、この現象をもう少し詳細に見ると、実際に干渉が発生する範囲はドアが全閉した位置よりもいくぶん外側にある (Fig.2)。この対応策としては、下記の2点が有効であることがわかる。

- (1) 先に閉じられるべきリヤドアがこの干渉範囲に停止している可能性を低くする
- (2) 干渉範囲そのものをできるだけ小さくする

まず、干渉範囲にリヤドアが停滞する可能性を低減するためには、ドア回転軸 (ヒンジ軸) を傾けることでドアを重力で自由回転させ、この範囲に停止しにくくなるようなヒンジレイアウトとする。通常はドアが勝手に開かないよう閉まり方向に傾けることで、ドアラッチとストライカが接するところで停止するものとし、この位置がフロントドアとの干渉範囲に入らないようにする。

次に、干渉範囲そのものを小さくすることに対しても、外板面形状に沿った方向にヒンジ軸を傾けることの幾何学的な効果による改善を行うことができる (Fig.3)。

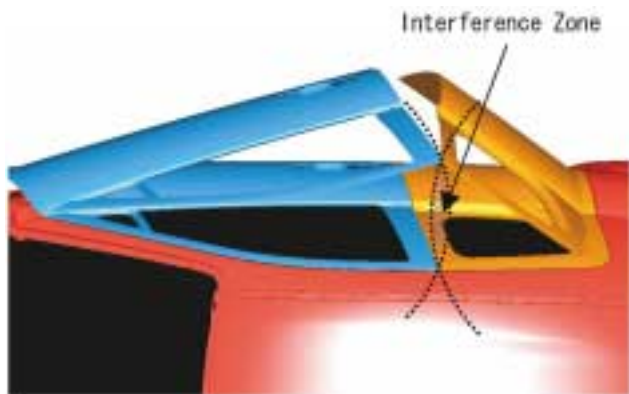


Fig.2 Plan View

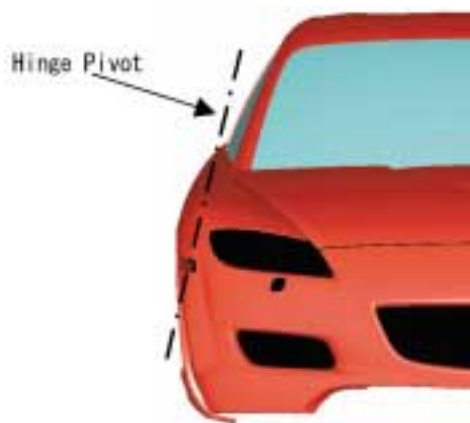


Fig.3 Front View

よって、これらの二つの効果を同時に得るためには、まずヒンジ軸を正面から見て内倒れになるようなヒンジレイアウトをとるべきであることがわかる。

しかし、一方向でのヒンジ傾斜状態のままでは、ドアの自重による開き操作力の増大を招くこととなるため、上記の効果を必要とする範囲以外ではこの影響を打ち消すようにヒンジ軸傾斜を側面方向で後ろ倒れに傾けて補正する必要がある。このため、RX-8のリヤドアヒンジ軸のレイアウトにおいては、正面内倒れ10度、側面後ろ倒れ15度の角度設定を行った。これは、干渉範囲の低減と全閉、全開状態での操作力への影響の両面から決定した値である。

また、ヒンジ軸を後方に傾けることで、リヤ・ホイールアーチ部分と形状的な関係において、この部分のドアカットラインを直線的に通したいというスタイリングの要望と、ヒンジのレイアウトスペース確保という技術的な課題の両面の整合をとることができた (Fig.4)。

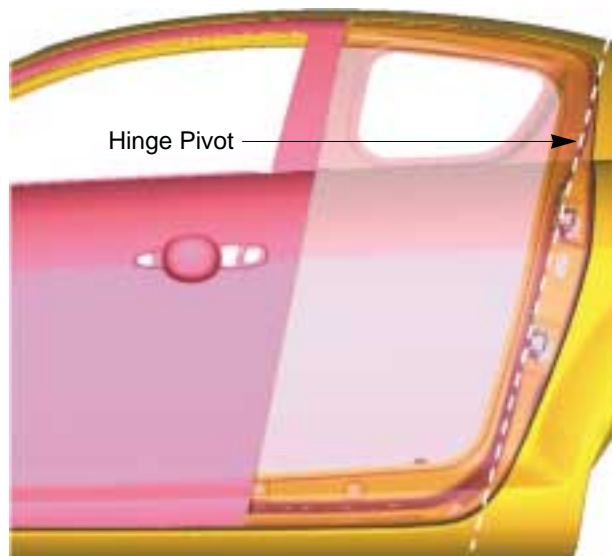


Fig.4 Side View

しかし、このように比較的大きな角度でヒンジ軸を傾けた場合、ドアの自重による開閉操作力への影響は必然的に発生する。側面から見た場合、ドア開度に伴う重心点の移動は楕円の軌跡を描き、全開開度80度に対し半開付近で開きと閉じの思案点に到達することになる (Fig.5)。この場合、全開に向かってはドアが開き方向に付勢されることになり、逆にドア閉め方向に対して大きな操作力が必要になる。RX-8ではこの操作力の増大に対し、ドアチェッカーの全開付近のモーメント特性において閉まり方向へのモーメントを発生させることでドア閉め力を補い、操作力を改善している。

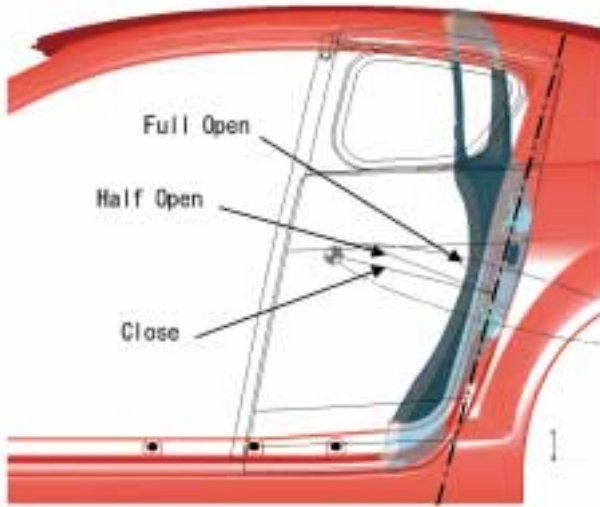


Fig.5 Gravitational Effect

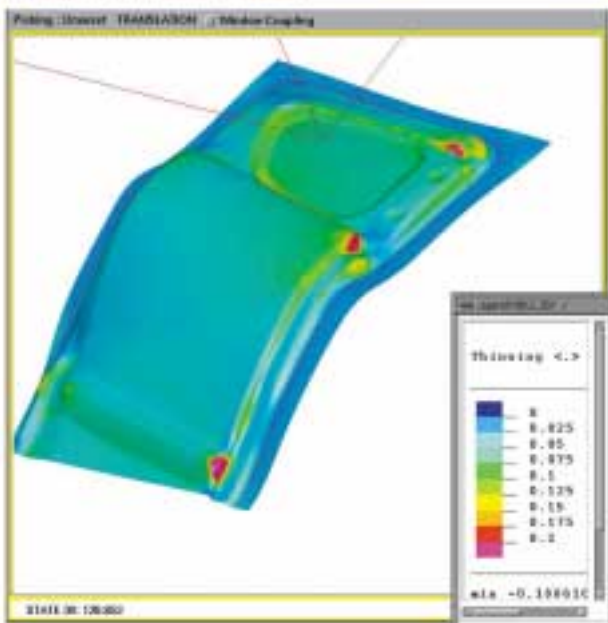


Fig.6 Stamping Analysis

4. アルミ採用による軽量化

アルミニウムはスチールの約1/3の密度であり、またヤング率もほぼ1/3の値である。薄板要素においては、剛性が板厚の3乗に比例するとみれば、アルミによるパネル構造体でスチールと等価の剛性を維持すると、およそ1/2の重量になるものと概算できる。更に引張り強さにおいては、調質によってこの差が逆転する場合もあり、強度を優先する構造体においては、アルミ化は更なる重量軽減の可能性をもたらしてくれる。

従来、マツダのスポーツカーでは、ボンネットをアルミ化することによる軽量化をいち早く取り入れてきた。今回のRX-8も重量軽減が大きな課題であり、ボンネットのアルミ化は当初より計画されていたが、更にリヤドアのアルミ化も新たな軽量化施策として取り入れた。また、ドアのアルミ化の目的は車両全体の重量軽減のみならず、前述したドア操作力の低減という目的において、特にセンターピラー相当の補強部材を取り込んでドアとしての重量増加が発生するという特異性を改善するための施策として織り込んだものである。

ドアはボンネットに比べると、多くの機能部品を内蔵することや、シール部材の取り付けのためにパネルの絞り成形深さが大きく、かつ外周部分のパネル形状はより複雑である。このため、プレス成形における材料の伸びが軟鋼板に比べて劣るアルミ板のドアへの適用実施例は少なく、スチールのドアと同等の形状にすることは事実上困難である。

この点はRX-8のリヤドアにおいても同様であり、設計計画段階よりドアの厚さや窓枠部分の絞り成形深さの制限や、絞り先端Rの拡大、形状段差の縮小や排除といった生産要件をもとに、形状創製への配慮を行った。また成形性の予測判定に関しては、CAE検証と同時に、試験用パネルによる成形結果の確認を行うことで、成形性予測精度の向上を図った (Fig.6)。この結果、ドア・アウターパネルは、センターピラーレス特有のドア前側段差形状部分の成形が困難であると判断し、この部分を分割成形して接合する構造とした (Fig.7)。



Fig.7 Outer Panel

インナーパネルは、通常のスチールドアに比べて成形が緩やかな断面形状であり（Fig.8）総じて曲げRはスチールの場合の3倍以上となっている。それでも窓枠部分は成形条件的に厳しく、特にセンターピラー相当部（Fig.9）は圧迫感を低減するために細くしたいというパッケージングからの要求と、反対に補強部材を通すための断面拡大の必要性という両立し得ない要件が加わり、構造決定が難しい部位であった。この部分の構造的な解決策については次章で述べる。

このように、ドア本体部分をアルミ化することによる重量軽減により、センターピラー部分相当の追加補強部材をドア内に取り込みながらも、通常ドア並みの重量に抑えることができた。これは車両全体で見ると、実質的にスチールドア構造に対して約40%の軽量化を行ったことに匹敵する。



Fig.8 Section Figure Comparison

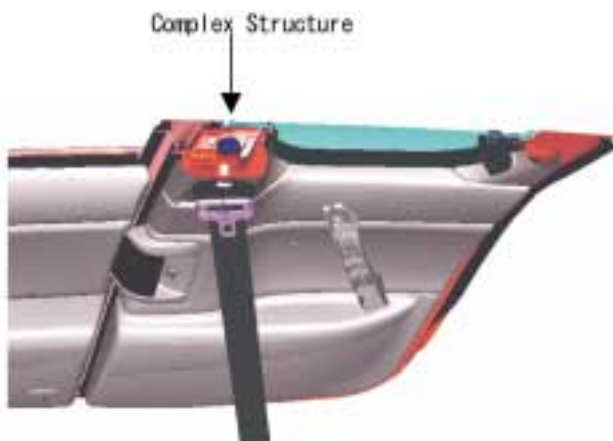


Fig.9 Center Pillar Section

5. リヤドアの補強構造

自動車における衝突安全性の確保、特に側突に対する要求性能は年々厳しくなりつつあり、こうした動向にセンターピラーレスの車体構造で対応するためには、車体側の補強とともにリヤドアの前側にセンターピラーに相当する強度部材を設定する必要がある。

側面衝突に対する安全性は、通常、一定の要件に基づく側面衝突試験において評価され、試験方法として、一定のエネルギー量で車体側面に衝突するバリアの進入をくい止めることと、乗員に加わる衝撃力をいかに低減するかにより評価される。センターピラーを有する通常の車体構造の場合、バリアの進入はセンターピラーにより支えられ、ここにかかる荷重はラーメン構造として結合されたルーフレールとサイドシルに分散して伝わる。

センターピラーレス構造においてはリヤドア部分でこの効果を発揮する必要があるが、特にドアの上下の部分は開閉機能上ラッチにて車体と係離脱を可能とする必要があり、必然的にこの部分はピン結合の構造体となる。この点は構造力学的に通常の車体構造と最も異なる点であり、等価の強度を維持するためには、まずリヤドアのセンターピラーに相当する部分の抗屈強度を通常のセンターピラー以上に高める必要がある。更にこの部分に掛かる荷重は上下のラッチの噛み合い部分に集中した後に車体に伝達されることとなるため、補強部材はラッチ取り付け部分に至る強度的な連続性を保つことと、ラッチの噛み合い強度のみならず、ドアと車体の上下方向の重合部における荷重伝達を有効に行うことで、効率よく車体側に荷重を分散させる構造としなければならない。



Fig.10 Built-in Pillar Structure

この要件に対し、RX-8においては高張力鋼管とスチール製のブラケットを接続したビルトイン・ピラーを設定することで対応している (Fig.10)。基本構成としてドアインパクトバー用1,500MPa級高張力鋼管をドアの形状に沿って曲げ加工し、上部と概略中央部、および下部の3ヶ所に固定用の締結点を設定した構造であり、上部ブラケットには上側ラッチを搭載するとともに、このブラケット自体が側突バリアの進入に対してルーフレールに係合する形状としている。一方、下部ブラケットは、ドア内に設定されているアルミ厚板による下側ラッチの取り付けブラケットに重ね合わせ、側突バリアの進入による鋼管の下端からの荷重を、直接ラッチに伝達できるようにしている (Fig.11)。同時にこの部分もサイドシルのフランジ縦面に向かって変位することで、直接車体を押すような効果を発揮することができる。この際、ドア下部とサイドシル重合部のずれを防ぎ、より確実に荷重伝達できるように車体に係合するキャッチャーピンを設定している。

このビルトイン・ピラーは、単にセンターピラー相当の補強部材としてのみならず、前席用のシートベルト部品およびそのアンカーポイントを、ビルトイン・ピラー上の各ブラケット部分に締結することで、シートベルトの性能保障上必要な大荷重強度も確保できるようにしている (Fig.12)。

また、スチール製のビルトイン・ピラーとアルミ製のドアパネルとは、リベットによる仮固定状態で塗装乾燥炉を通し、その後のファイナル・アッセンブリ工程で各ラッチやシートベルト部品等を搭載することにより、各締結点を最終的に固定するようにすることで、塗装乾燥炉内でのインナーパネルとビルトイン・ピラーの異種金属間における熱膨張差による歪みを防止する締結構造としている。



Fig.12 Front Seat Belt Installation

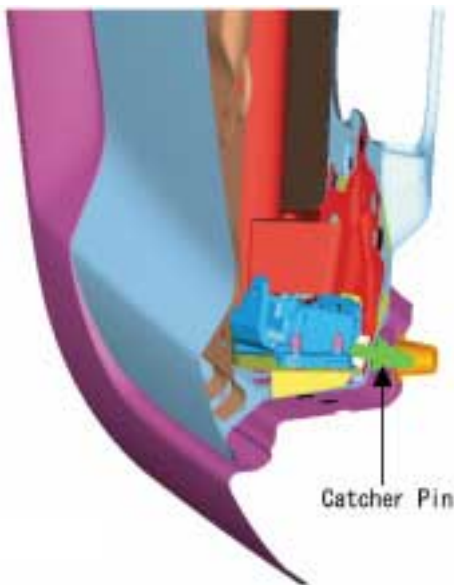


Fig.11 Lower Latch Area

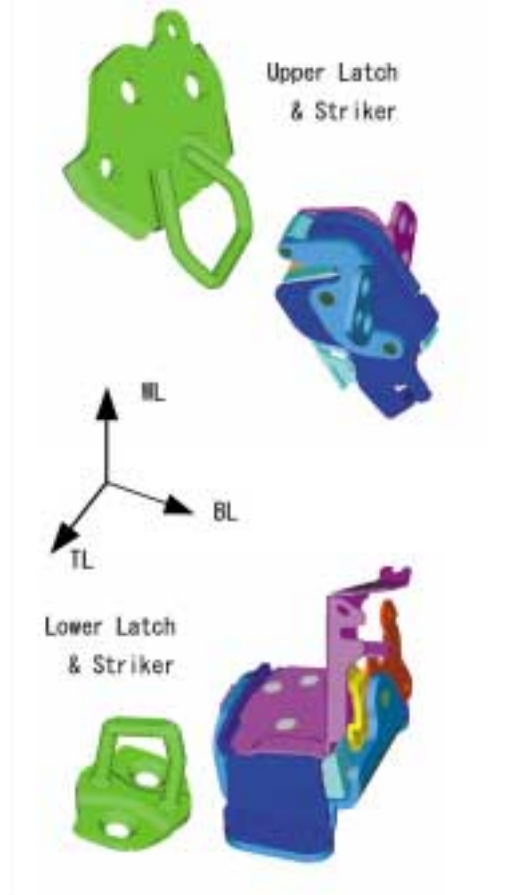


Fig.13 Upper & Lower Latches

6. ラッチとその操作系について

上下のドアラッチとストライカは噛み合いの軸線方向及び取り付け面が、いずれもほぼ直角方向にずれている (Fig.13)。これは上下ラッチ間の取り付け寸法誤差を逃がすことと、建付け調整を容易にすることを目的としたものである。一方、左右のラッチはそれぞれの噛み合い方向に向かって搭載することで、左右を完全に共用部品としている。これらのリリース系はワイヤーケーブルにより駆動され、上下ラッチのほぼ中央部分に設定されたリリースハンドルの操作により同時に解除される。このリリースハンドルは、フロントドアが開いている場合にのみ操作可能であり、フロントドアが閉じている場合には、ハンドル前縁がフロントドアトリムに当接規制されることで誤操作を防止している (Fig.14)。また、このハンドルの設定位置はリヤドア前縁室内側とし、車外と車内の両方から操作可能な構造としている。

このように、リヤドアはフロントドアが開いてからの操作を前提としており、フロントドアを閉めた状態でうっかりリヤドアをリリースしてしまうような誤操作を確実に防止するとともに、実質上フロントドアを施錠すればリヤドアを単独で開くことは不可能であることから、リヤドアの操作系はリリースのみであり、通常ドアラッチのような施錠/開錠の機構は存在しない。これらを総合的に見れば通常ドアのラッチ系に比べて非常にシンプルな構成としている。



Fig.14 Rear Door Release Handle

7. おわりに

以上のように、RX-8に採用したセンターピラーレス・フリースタイルドアには、レイアウト上の特徴、アルミ化、側突性能保障への対応、ユニークな機構によるラッチ・リリース系といった、様々の新技術要素を採りいれて開発した。これらには乗用車における先行実施例がほとんど存在しないことから、自由な発想と堅実な構造化の両面での設計構想化とともに、最新の解析技術と創造力を駆使して取り組むこととなった。こうした成果によって、RX-8のセンターピラーレス・フリースタイルドアは、新たなドア構造の一つの姿としてその存在を示すことができた。この開発の過程で得られた貴重な経験と知識、そして数多くの要素技術は、今後より新たなドア構造の可能性を導くことに貢献するであろう。

最後に、このセンターピラーレス・フリースタイルドアの開発と育成にご協力いただいた方々のご支援に感謝し、ここに深くお礼を申し上げたい。

著者



守山幸宏



伊藤 敦



石井文雄



二関 隆

特集 : RX-8

12

RX-8のクラフトマンシップ (内装質感) Craftsmanship in RX-8 (Interior Quality Feel)

中 崎 浩 二*¹ 高 原 順 司*² 山 地 一 平*³

Kouji Nakasaki

Junji Takahara

Ippei Yamachi

嶋 田 正 人*⁴ 岡 田 健 治*⁵

Masato Shimada

Kenji Okada

要 約

近年、欧州メーカーや国内メーカーの内外装の質感が格段と向上してきている。このような競争の激しい状況の中で、マツダは「クラフトマンシップ」という新しい考え方を、アテンザや新型デミオに導入してきた。これらの開発は、仕上げまとり、見映え、操作性などの「造り込み」と、造形と機能が融合された「機能美」を柱にしたものであった。RX-8では、さらにお客様に“ワクワクする楽しさ”を感じていただくため、「カスタマーデライト」という柱を追加し商品造りを実践してきた。

本稿では、新たなステージに進化した、マツダ独自のクラフトマンシップについて、RX-8での取り組み事例として、リアコンソールリッドとインストルメントパネルの「造り込み」、シートの「機能美」、メータ照明の「カスタマーデライト」を紹介する。RX-8でこだわってきた高触感TPO内装表皮材料と、ステアリングシフトスイッチについては、「内装用樹脂材料の「タッチ感」向上技術」及び、「スポーツATステアリングシフトスイッチの開発」の論文を参照下さい。

Summary

Recently, the progress of interior and exterior quality feel by European and Japanese manufactures has been extremely drastic. In this tough competitive situation, Mazda has been proposing and developing the new concept “Craftsmanship”, which has been incorporated into Atenza and New Demio. The Craftsmanship concept has focused on “Built-in-Quality” such as good finishing, appearance, ease of operation, and “Functional Beauty” best balanced between a shape and operating feel. In RX-8, “Customer Delight” was further added on these concepts for providing “Fun and Exciting” to customers.

As the evolution of Mazda unique craftsmanship in RX-8, this article shows “Built-in-Quality” in a rear console lid and instrument panel, “Functional Beauty” in seat, and “Customer Delight” in meter illumination. Please see the “Technology for improving “touch feel” of interior plastic material” and the “Development of sporty automatic transmission steering shift switch”, for the interior surface material TPO and the steering shift switches set, which we are particular about the high quality feel in RX-8.

* 1, 2 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

* 3, 4 装備開発部
Interior Components Development Dept.

* 5 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

1. はじめに

マツダでは、アテンザ・新型デミオから本格的にクラフトマンシップ活動を行ってきた。これらモデルは「造り込み」と「機能美」を柱に開発してきており、RX-8ではお客様に更なる価値や喜びを感じていただけるように「カスタマーデライト」の柱を追加開発した。

2. RX-8のクラフトマンシップ

お客様がクルマを“見て”“触って”“操作”して感じる領域をこだわりをもって造り込むために、マツダでは独自のクラフトマンシップの基準を設けている。RX-8では、仕上げ品質などの「基本的な造り込み」と、デザイン造形と操作性を融合した「機能美」に加え、新たに「カスタマーデライト」という新しい領域を採り入れた。その狙いは、お客様が乗るたびに“ワクワクする楽しさ”を実感していただける商品造りを目指すためである。

Fig.1はマツダの目指すクラフトマンシップの基本的な考え方を示している。縦軸にクラフトマンシップのレベルの高さ、横軸を時間軸とし過去から将来に向けて、いかにしてクラフトマンシップを向上させていくかを表している。

お客様が見て、触って、操作する部位について、お客様の声を分析した。価値を感じる順番は、レッドの部位が最も価値が高く、次にオレンジ、イエロ、グリーンとなる(Fig.2)。RX-8では、この結果からお客様が価値を高く感じている部位に重点を置き、表皮材の選定や操作性の造り込みを行ってきた。

3. 造り込まれたインテリア部品

前章で述べたお客様の感度が高い部位は、合い沿いが良く、見た目の質感が高く、操作性の良いものが求められる。この章では、シフト操作性と小物入れ収納性を両立したリアコンソールリッド及び、質感が高い低艶シボと助手席エアバッグのシームレス化を折り込んだインストルメントパネル造り込みについて紹介する。

3.1 リアコンソールリッド操作性

リアコンソールのリッド操作性は、お客様に喜ばれるスムーズなシフト操作性と使い勝手の良いリアコンソールリッドを造り込むため、次の4点に注力した。

- ① シフト操作時、運転者の肘や腕が当たりにくいリッド位置
- ② アームレスト使用時のリッド表面の触感
- ③ カップホルダー/小物入れ使用時、リッドのスムーズな開閉
- ④ リアコンソールリッドの造形美(処理が綺麗)

これら①~④を満足できるリッド操作方式を検討した結果、プッシュロックで開閉できるタイプで、前後にスライ

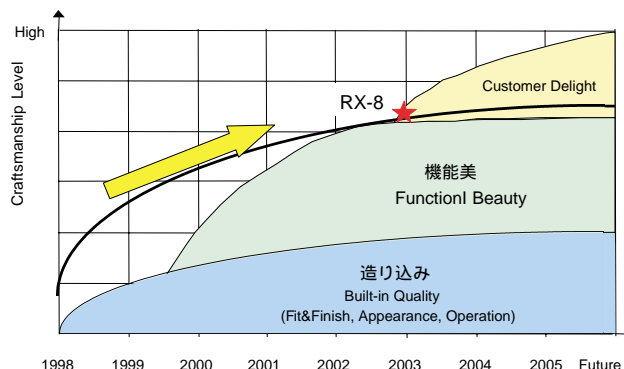


Fig.1 Concept of Craftsmanship

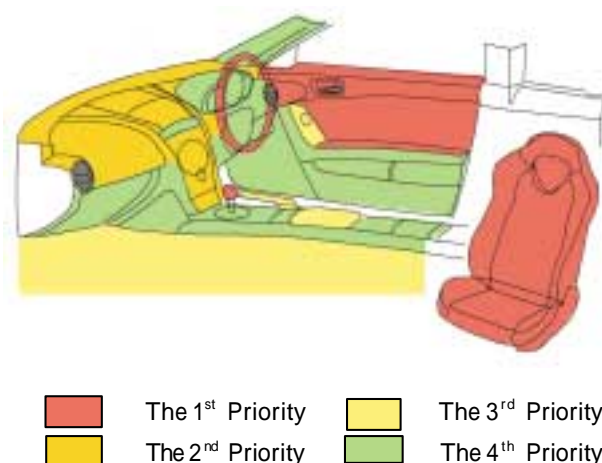


Fig.2 Prioritized Components by Customers

ドする方式を採用した。さらに、後方の小物入れを使用する時は、リッドを最後端にスライド後、運転席側から助手席側へ横方向に跳ね上げる構造とした(Fig.3)。

特にこだわって造り込んだスライドリッドの操作性は、スライド品の操作力とストロークの特性をベンチマークし、ロック解除~スライドの操作力目標を決定した(Fig.4)。他車のスライドタイプと比較すると、ロック操作力5N、スライド操作力2Nで操作力が最も軽く、スムーズな操作波形を実現した。またリッド強度や操作耐久といった信頼性との整合性を図るため、スライド構造や跳ね上げ構造に工夫を凝らした。以上の造り込みを行うことでお客様が快適なシフト操作ができ、使い勝手の良いリッド操作性と心地良いアームレスト機能およびデザイン処理を実現した。

3.2 インストルメントパネルのシボ

RX-8では、質感がワンクラス上のインテリアを実現するため、内装表面の色・艶・シボと形状処理に着目して取り



Lid closed condition



Use of the cup holder



Use of the console box

Fig.3 Rear Console Operation

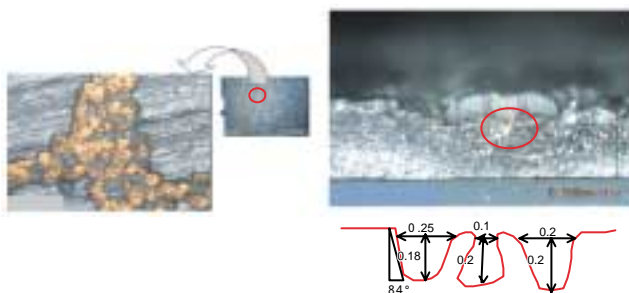
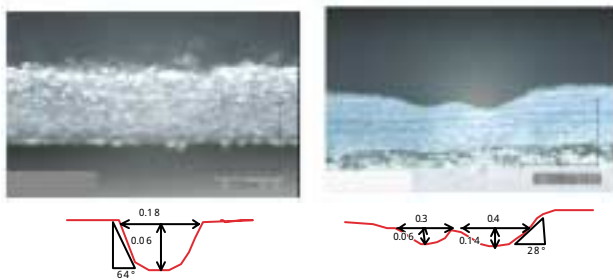


Fig.5 Section for Bad Grain



Type A Grain

Type B Grain

Fig.6 Section for Good Grain

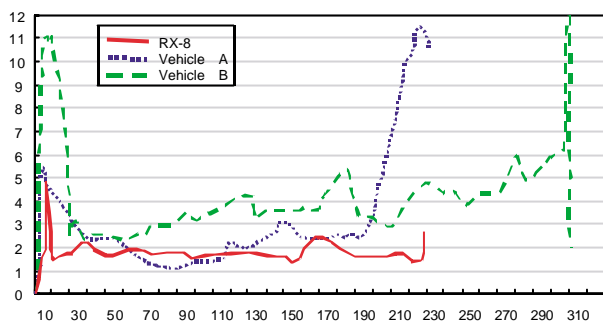


Fig.4 Force-Stroke Characteristic of Rear Console

組んだ。この中で、インストルメントパネル上面が低艶で質感が高く見える表面処理と、従来車にないデザイン意匠を採用するため、新しいシボの開発を行った。開発初期のシボ形状は、艶が低く質感を満足していた。しかし、シボの中にダストが入ると乾いた布で何十回拭取りを行っても金色のダストが取れなかった (Fig.5)。この原因を調べると、シボの断面形状から入り口が狭く、谷の傾斜角が90°に近いことが分かった。そこで拭取り性に問題がないシボ2種類の断面形状を調べた (Fig.6)。この結果Fig.7に示す断面形状が汚れの拭取り性を満足するシボ形状であることが分かった。詳細条件は、①シボの開口(A) : 深さ(B)が3 : 1 ②シボの底面が球状 ③シボの角度が64°以下である。

この結果をもとにRX-8のシボ形状を見直し、Fig.8に示す断面形状にすることで、拭取り性に関して数回の拭取りでダストが取れることが確認できた。また、見た目の質感

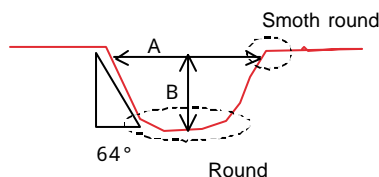


Fig.7 Section for Suggestion Grain

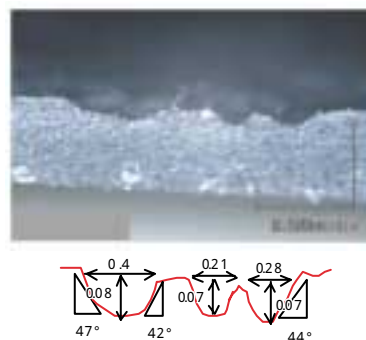


Fig.8 Final Grain of RX-8

も狙いのシボの意匠性を落とさず、低艶に見えるシボ形状を実現した。

3.3 ソフトパッド付きシームレスエアバッグ

質感の高いシボをより効果的にお客様に感じてもらうことと、すっきりとしたインストルメントパネルを実現するためにシームレスエアバッグを開発した。これは、エアバッグ用のリッドを助手席側のパッドと一体化し、リッドの

あわせラインをなくしたものである (Fig.9)

この開発のポイントは、①表皮の材料と工法の選定及びその確立、②リッドを開きやすくするためのティアライン (エアバッグ展開時にリッドが開裂するライン) の加工方法の確立であった。

新規のシボを効果的に実現するために、表皮の加工方法は高級車に採用されているパウダースラッシュ成形とした。表皮材料は、あらゆる環境状況に適應できるTPU (Thermoplastic Urethane) を採用することとした。また、ティアラインの加工方法は世界的に実績のあるレーザカットを採用した。

Fig.10は、ティアラインの詳細断面図を示す。ティアラインは、特殊レーザでミシン目状の加工が施されている。レーザによる加工は、基材 (ポリプロピレン) と発泡層 (ウレタン) を貫通し、表皮 (TPU) の表面をわずか数百ミクロンの残厚を残して針状に穴をあける加工である。このミシン目のピッチや表皮残厚を最適化することによって、エアバックの展開性能、表面見栄え及びリッド剛性等の要求性能を満足したソフトパッド付きシームレスエアバッグを実現した。



Fig.9 Seamless Airbag of RX-8

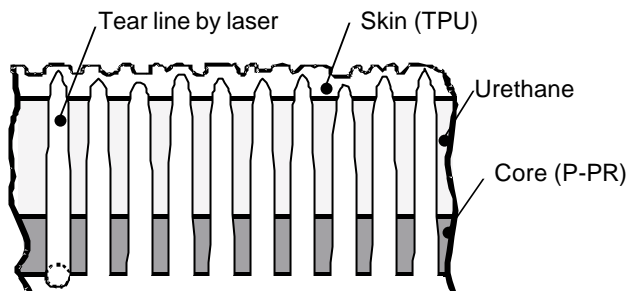


Fig.10 Section of Tear Line

4. シートの機能美

機能美という言葉は、機能とデザインの融合を指すが、RX-8のシートは単に両者のバランスの産物ではない。スポーツ走行や長時間クルージングで、運転者の身体をいかに安定させ、運転者への負担をなくすか。シートの機能を人間工学的に突き詰めた結果、RX-8のシート造形は、自ずと精悍で美しいシルエットをもつこととなった。その機能とは、この車のシートに欠かせない「ホールド性」と「長時間運転での疲労の少なさ」である。

4.1 ホールド性

車両の運動性能が高まれば高まるほど、スポーツ走行でシートの果たす役割は大きくなる。コーナリングの横Gに対して、ホールド性が不十分なシートに乗った運転者は

- (1) 骨盤がロールし、上体も大きく外側に振れる。
- (2) 振れた上体を元に戻そうとしながら運転するため、脊柱が湾曲する。
- (3) コーナリング内側の骨盤は、シートバックからも離れようとする (Fig.11)。

体圧分布および筋電位を用いた評価、研究により、これらの要因が運転者に生理的負担を与えることを既に報告している⁽¹⁾。

RX-8では、シートバックショルダサポートを設定し、その形状を上記の評価手法を駆使すると同時に、窮屈感を与えない形状ヘチューニングしていくことで、トップレベルのホールド性を実現した。また尻周辺のシートサイドボルスタを身体に対して窮屈感を与えない範囲で接触させ、骨盤のサポートを向上させた。これらの対応により、コーナリング時にも、運転者の大きな筋力を使うことなく身体を保持するシートを造り込むことができ、車両操縦性の向上に貢献している。

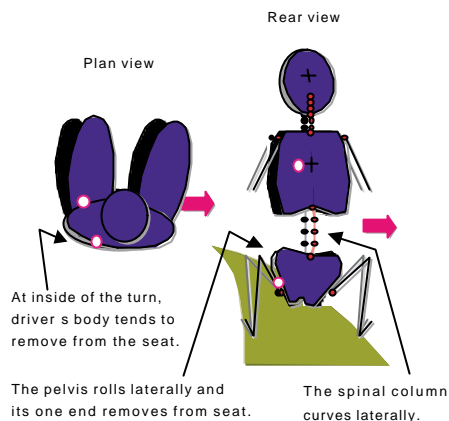


Fig.11 Schematic Model of Driver's Movement while Cornering

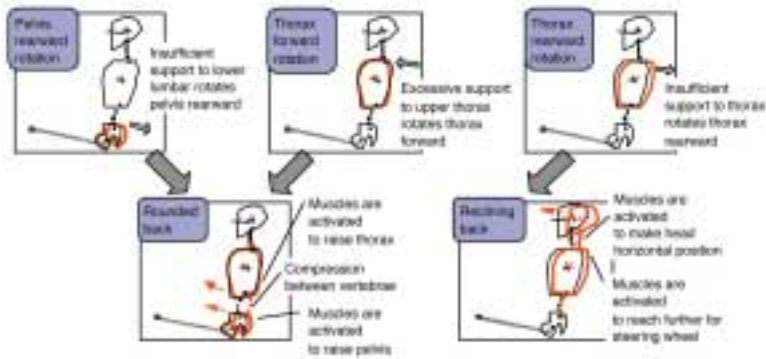


Fig.12 Scheme to Generate Discomfort Postures

4.2 長時間運転での疲労の少なさ

スポーツカーのシートでも、ホールド性だけあれば良いものではない。ビジネスやレジャーで高速道路を数時間にわたりクルージングするような場面では、シートはゆったりと、しかし、身体の支えて欲しい部分を的確にサポートする必要がある。多くの車で長時間運転により腰が痛くなったり、肩が凝ったりするのは、

- (1) 骨盤上端の支持が不十分なために骨盤が後転し、猫背になる、
 - (2) 胸郭上部の支持が強すぎるために胸郭部が前転し、猫背になる、
 - (3) 胸郭上部の支持が不足して胸郭部が後転する、
- のいずれかが原因となっている (Fig.12)。猫背になると、腰椎が疲れにくいS字カーブからずれるために、椎間板に疲労が蓄積する。また、胸郭部が後転した場合、運転者は運転のために前を見る必要があることから、不自然な形で頭を前に起こすため、肩や首に凝りが発生する。こうした疲労のメカニズムも我々の生理学的研究により明確にできている⁽²⁾。

RX-8では、アテンザ開発で培ったシート形状や座面剛性をベースに、シートバックをヘッドレストと一体・大型化させることでさらに身体へのフィット性を向上させ (体圧を効果的に分散させながら)、身体各部に最適な支持を与えることができた。これにより運転者は、余分な筋力を使うことなく、長時間にわたり疲れにくい姿勢を保持できるようになった。

4.3 シートカラーリング

RX-8はシート表面の素材色にもこだわり、本革には3種類の色を設定した。またシルバーにデザインしたシートバックボード、ヘッドレスト下のロータリ型ベゼルによってシート本体造形の機能美を一層際立たせることができた (Fig.13)。

5. カスタマーデライト

マツダが考えるカスタマーデライトとは、従来の車にない新規性のあるものを示し、お客様が見たり、触ったり、



Fig.13 Seat of RX-8

操作する時に、今までに感じたことがない感動を覚え、魅了するものを示す。そこでRX-8では、スポーツカーに求められる視認性に優れたメータで、乗降時と運転時に、今までのメータにない新規性のある仕様とした。具体的には、高輝度のブラックアウトメータを採用し、昼間と夜間で異なる照明を2色設定した。また新規性のあるブルーの間接照明を採用した。

5.1 ブルーの間接照明と照明色

RX-8のメータには、従来にない演出効果を高めるとともに、さらなる視認性向上を目的にブルー照明を文字盤前方の上部から文字盤表面に直接光として照射する仕様を設定した。これは、従来のメータ文字板裏からの透過光に加え、この透過光の補色であるブルー間接照明をプラスすることでアンバーレッドの赤味を和らげるとともに、今までには無い照明効果を狙ったものである。このブルーの間接照明を採用するにあたり、次のような問題があった。

- ① ブルーの光源が直接目に入る
- ② 各メータのグラフィックへの照射が不均一
- ③ ブルー色が鮮やかでない (色味 / 輝度)

以上の問題点を解消するため、LEDの位置、個数、輝度、色味を検討した結果、鮮やかなブルーの間接照明を均一に照射することができた。このブルーの間接照明が点灯するシーンを一部紹介すると、例えばキーレスエントリースイッチでドアロックを解除し、ドアを開けるとメータ内からブルーの間接照明がブラックアウトメータの文字盤上を柔らかくライトアップする。このようにメータ内のブルー照明がドライバへ“WELCOME”の演出を行う。

次に、メータ色を昼間ホワイト色、夜間アンバーレッド色とブルーの間接照明を採用した (Fig.14, 15)。昼夜で異なった照明色を設定することで昼間と夜間のそれぞれにおいて違った雰囲気演出するとともに、夜間照明においては、アンバーレッド照明とブルー照明が相まって、目に



Fig.14 Day Illumination of Meter



Fig.15 Night Illumination of Meter

優しい淡いアンバーレッド色となり、視認性の向上を図りながら、スポーティ感も演出した仕様とした。

5.2 メータレイアウト

RX-8のスポーティ感を演出するため、メータデザインは3眼筒型メータを採用した。各機能部の配置では、スポーツ走行で重要なアナログ回転計をセンター配置するとともに、速度計もコンパクトなデジタル表示とし、回転計と同じセンターにレイアウトした。燃料計、油圧計、水温計、ATインジケータにおいては、走行中の視認性向上を図るため、目視頻度の高い機能から視線移動の少ない車両センター側に配置をした。その結果、従来は左、右ハンドル車で、同一のメータを使用しているのに対し、RX-8では上述の最適配置を実現するため、左右専用メータを設定した。

特にRX-8では、スポーティ感を強調するため、回転計の0rpm位置を時計の6時方向とした。又、デジタル速度計では、限られたスペースの中で走行中の視認性を確保するため、文字形状や文字色決定について、机上での判読性最適文字形状の検討に加え、実車評価を行い決定した。

6. おわりに

本稿以外にもさまざまな項目について、マツダのフラッグシップカーとしての“造り込み”、“機能美”の追求を行ってきた。さらに、“カスタマーデライト”という新しい柱を取り込んだRX-8の“ワクワクする楽しさ”を実感して

いただければ幸いである。

最後に、幅広い分野でのクラフトマンシップ開発において、ご協力いただきました多くの関係者に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) H. Okiyama et al: Objective Evaluation of Seat Lateral Support for Cornering, SAE 2001 Transactions - Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, Section 6, Volume 110, P306 - 310 (2001)
- (2) N. Michida et al: A Study of Driver's Fatigue Mechanisms During Long Hour Driving, SAE 2001 Transactions - Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, Section 6, Volume 110, P284 - 292 (2001)

著者



中崎浩二



高原順司



山地一平



嶋田正人



岡田健治

特集：RX-8

13

RX-8の衝突安全性能 Passive Safety of RX-8

横山 英樹*1

Hideki Yokoyama

梶村 勇一*3 神本 一朗*4

Yuichi Sugimura

Ichiro Kamimoto

竹下 弘明*5 胡木 隆*6 田中 祐充*7 平田 基晴*8

Hiroaki Takeshita

Takashi Ebisugi

Masamitsu Tanaka

Motoharu Hirata

要約

RX-8の最も大きな特徴は、センターピラーレス、フリースタイルドアの採用である。この独自のスタイルと高い衝突安全性能を実現させるために新たな技術を織り込み開発した。

側面衝突時の衝撃をボデー全体に分散させ客室の変形を抑制するために、ビルトインピラーと呼ぶセンターピラーに代わる構造をリアドア内に設定した。さらに、キャッチャーピンの採用やボデー構造の強化によって通常の4ドアセダンに勝る側面衝突性能を実現した。

前面衝突については、大径タイヤの採用やショートオーバーハング化のため、同クラスの他車と比べクラッシュャブルスペースが小さいが、エネルギー吸収特性の高いフロントサイドメンバや衝撃分散構造を採用することによってクラストップレベルの前面衝突性能を実現した。

後面衝突においては、リアサイドメンバのエネルギー吸収特性を高め、国内基準より厳しい180km/hオフセット後面衝突にも対応できる構造とした。さらに、歩行者頭部保護対応ボンネットの採用など安全装備についても充実させた。

Summary

The biggest feature of RX-8 is an adoption of Center-Pillar-less and Freestyle Door. Newly developed technologies were employed to realize original styling and high safety performance against crash.

A structural material called "Built-in Pillar" was provided in a rear door in place of a center pillar. In addition, catcher-pins and high-strength body structure were also introduced. As a result, RX-8 achieved superior side impact performance to other conventional sedans.

The crushable length of RX-8 in frontal impact is shorter than that of the other vehicles in the same class because RX-8 employs short overhang layout and large diameter. Nevertheless, it has achieved class-leading frontal impact performance by adopting the front side members with high-energy absorption characteristics and energy-dispersing structure.

For the rear impact, RX-8, having a high-energy absorbing rear side member, satisfies the offset rear impact at 80km/h which is much severer than domestic standards. Furthermore, RX-8 boasts enhanced safety equipment such as pedestrian head protection hood.

* 1 ~ 5 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

* 6 , 7 CAE部
CAE Dept.

* 8 装備開発部
Interior Components Development Dept.

1. はじめに

RX-8は大人4人が十分に乘れる機能性と居住性を備えた革新のスポーツカーである。それにふさわしい高いレベルの衝突安全性能を実現することを目指した。RX-8の独自のスタイリングと高度な衝突安全性能を両立するためには多くの課題があり、新たな技術が要求された。他の車と最も大きく異なるのは、ボデー側面を大きく開いたセンターピラーレスのフリースタイルドアの採用である。通常のセンターピラーがある車に劣らない側面衝突性能の実現は重要な課題であった。また、フロントおよびリアのショートオーバーハング化、あるいは大径タイヤの採用といったスポーツカーのスタイリングと前・後面衝突性能の両立も必要であった。本文においては、スポーツカーとしてのデザインや機能と高いレベルの衝突安全性能をどのようにして両立させたか、要点を述べ構造的な特徴を紹介する。

2. 側面衝突性能

衝突時の乗員の安全性を高めるためには、乗員に加わる衝撃の低減と衝突後の客室空間の確保が必要である。前面衝突と比べて、衝突の衝撃を吸収できるスペースが非常に小さい側面衝突では、衝撃を車体全体に分散して衝撃エネルギーを吸収する必要がある。従来よりマツダではボデーにトリプルH構造を採用し、限られたスペースで衝撃エネルギーを吸収し、高い安全性を達成するよう取り組んできた。RX-8では、このトリプルH構造の考えをさらに発展させセンターピラーレスで対応する工夫を各部に折りこんだ。

ドアまわりの構造をFig.1に示す。リアドア内のセンターピラーに相当する部分に強度部材を設定し、ビルトインピラー構造とした。この強度部材はアルミ製のレインフォースとFig.2に示す縦置きに配置された高張力鋼インパクトバーとで構成されている。衝突時のエネルギーを連続的に車体へ伝達させるため、このインパクトバーと上下のドアラッチを補強部材で結合した。ドアラッチは衝突時の大荷重を伝達するために従来の約2倍の強度とした。また、前後のドアビームは効率良く荷重を分散し伝達させるため、このビルトインピラーとボデーにラップさせるレイアウトとした。

さらに、ドアに加わる衝撃をより確実にボデーの下側へ分散させるために、ドア下部にはFig.3に示すキャッチャーピンを設定した。キャッチャーピンはリアドアへ2ヶ所、フロントドアに1ヶ所設定した。

Fig.4にボデー構造を示す。ボデー側は、ドアに加わった側突時の衝撃を効果的に受け止める構造とした。車体側面の大口開口部には十分な断面を確保するとともに環状型レインフォースと呼ぶ補強部材を配した。ボデー上部にはルーフレインフォースを設定し、ボデー下部には2本のクロスマンバを配した。これらは先行開発段階からFEM解析

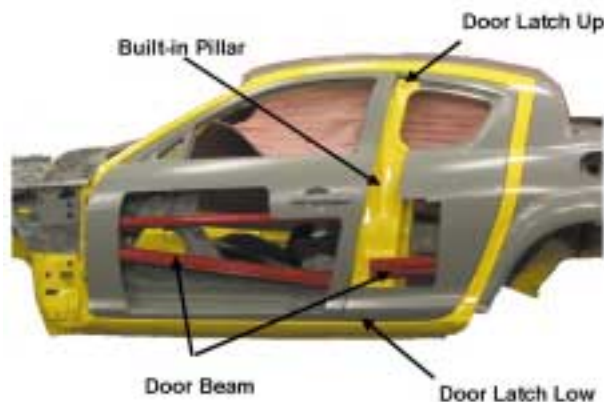


Fig.1 Door Structure



Fig.2 High-tensile-steel Pipe Reinforcement



Fig.3 Catcher Pins

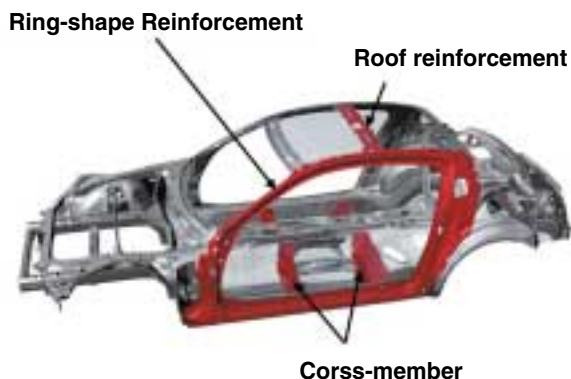


Fig.4 Body Structure for Side Impact

および解析精度向上のためのユニットテストを実施し構造検討を行った。

以上のような構造を用いることによって、側面衝突時の客室変形の低減を実現した。RX-8とセダントイプの他車との55km/h側面衝突時のドア侵入量比較結果をFig.5に示す。社内試験ながら、RX-8がセンターピラーを持つ他車に比べ低く抑えられていることがわかる。

ドアトリムなど内装部品の特性に関しては、FEMモデルによる構造解析やMADYMOを使った乗員傷害値解析に加え、今回新たに実車衝突現象を台上で再現するクラッシュ

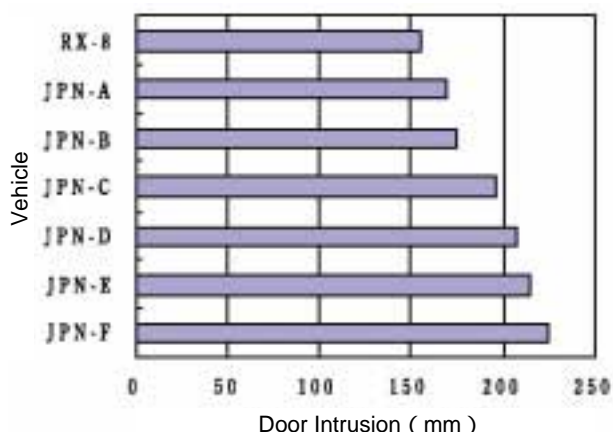


Fig.5 Door Intrusion at 55km/h Side Impact Test



Fig.6 Crash Simulator



Fig.7 Side Airbag and Curtain Airbag

シミュレータ (Fig.6) を使ったユニットテストを行い、内装特性を最適化した。また、乗員の頭部を保護するカーテンエアバッグと胸部を保護するサイドエアバッグも設定し、さらに安全性を高めている (Fig.7)。

これらの車体構造と安全装備により、社内評価結果では各国の市場安全性評価でトップクラスに入る側突性能を実現した。

3. 前面衝突性能

前面衝突時に乗員の安全性を高めるためには、客室部の変形は抑制しつつ、車体前部を効率よく変形させて衝突エネルギーを吸収する必要がある。RX-8は大径18インチタイヤの採用やショートオーバーハングスタイルにより、同クラス他車と比較すると、衝突エネルギーを吸収するクラッシュャブルスペースが小さい。このコンパクトなボデーの中で、CAEやユニットテストの活用により各部の構造を最適化し、フルラップ衝突とオフセット衝突を両立させた。

まず、車体特性の考え方について述べる。Fig.8に56km/hフルラップ衝突および64km/hオフセット衝突における車両の潰れ特性を同重量クラスの従来車種と比較したものを示す。フルラップ衝突では、短いクラッシュャブルスペースで効率よく衝突エネルギーを吸収し、またプリテンション付きシートベルトなどの乗員拘束装置の効果を上げるために、衝突初期段階での減速度を高く設定した。更に、衝突後半は減速度を一定以下に抑えることで乗員傷害値を低減させている。オフセット衝突では、足首の傷害値低減や乗員の生存空間確保のため、上述のフルラップ衝突での減速度向上策に加え、ダッシュ周りの強度向上を図り、客室部の変形を抑制している。上記の車体特性を満足させるための詳細構造を、CAE解析を使って具体化した。

Fig.9にRX-8の前部車体構造を示す。衝突初期のエネルギー吸収量を向上させるため、クラッシュカンおよびフロントサイドメンバに八角形断面を採用した。ダッシュ周りについてはサイドメンバからの高い入力荷重を効率よく分散して受け止めるため、三つ又構造とし、トルクボックスの捻り強度を高めた。

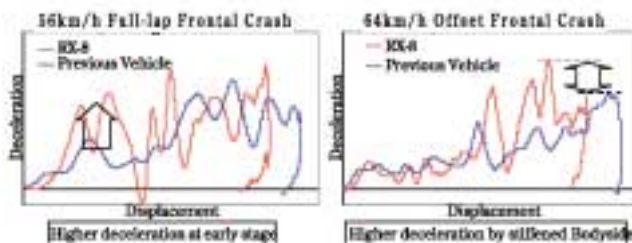


Fig.8 Deformation Characteristics for Frontal Crash

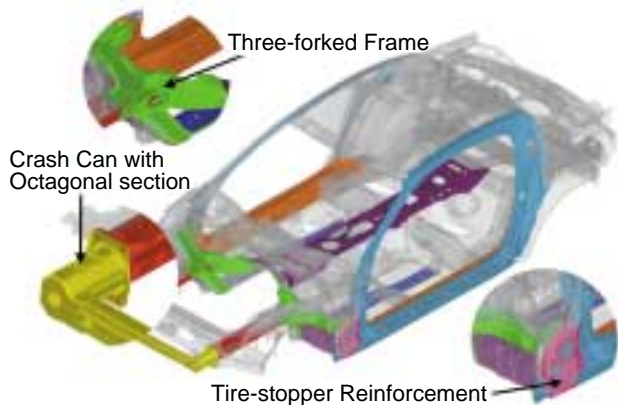


Fig.9 Body Shell Structure for Frontal Crash

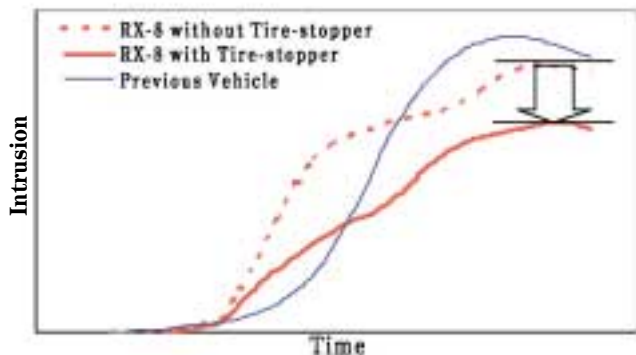
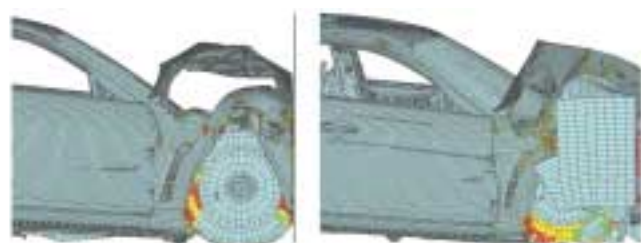


Fig.10 Tire Stopper Effect on Dash-panel Intrusion at 64km/h Offset Frontal Crash



Fig.11 Dual Stage Frontal Airbags



Full-lap Frontal Crash Offset Frontal Crash

Fig.12 Frontal Crash Body Deformation

客室部については、フリースタイルドアの開口部にテールロードブランクを用いたキャブサイドパネルを配し、板厚の最適化で効率的に強度を高めている。これらを軽量で実現するため、400MPa級から590MPa級の高張力鋼板を採用している。

また、前述のとおりRX-8では大径タイヤの採用により、従来車種にくらべてタイヤ前後の潰れスペースが小さいため、客室部の変形量が増大する懸念があった。これに対応するため、ヒンジピラ前側にタイヤストップレインフォースを設定し、タイヤからの入力をサイドシルへ分散させダッシュ面の室内側侵入量を抑制した。Fig.10にタイヤストップの効果を示す。タイヤストップの設定により、侵入量が抑えられていることがわかる。

RX-8の運転席と助手席のフロントエアバッグには、前面衝突時の衝撃の大きさによってエアバッグの展開強さを2段階に制御して、乗員保護に最適な強さでエアバッグを作動させるデュアルステージエアバッグを採用している (Fig.11)。また、シートベルトには、プリテンションとロードリミッターも組み込まれており、前述のエアバッグと併せて、前面衝突における乗員の傷害を低減する役割を担っている。さらに、後退防止ブレーキペダルの装備により、前面衝突時のブレーキペダルの後退を抑え、乗員脚部の傷害を低減している。

Fig.12にフルラップおよびオフセット衝突時の変形状態のCAE結果を示す。これらの車体構造と安全装備により、側面衝突性能と同様に社内評価結果で各国の市場安全性評価でもトップクラスの安全性能を実現した。

4. 後面衝突性能

近年、後面衝突においてもより高い安全性が求められている。RX-8では、短いリアオーバーハングの中で、高い衝突性能を実現するために、トランクルームをしっかりと潰して衝突の衝撃を吸収させるクラッシュアブルゾーンとし、燃料タンクがレイアウトされている部分からは変形しにくい構造とした。

Fig.13に後面衝突対応ボデー構造を示す。リアサイドメンバは軸方向に潰れ、短いストロークで衝撃を効率的に吸収できる大型断面のストレート形状とした。さらに、変形時に高い荷重を維持しやすい高張力鋼板を採用することによって、リアサイドメンバの強度を従来車に比べ、約1.7倍に高めた。また、燃料タンクがレイアウトされている部分は、後面衝突時の変形を抑えるため、強化したリアサイドメンバとバックボーンフレーム、クロスメンバで囲む構造とした。

これらにより、日本の法規である50km/h後面衝突はもとより、より厳しい80km/hのオフセット後面衝突でも燃料系を保護し、客室変形を低減する構造を実現した。

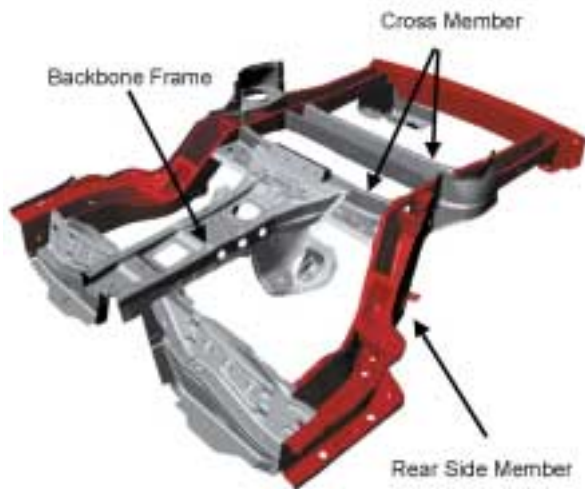


Fig.13 Rear Body Structure



Fig.14 Pedestrian Head Protection Hood

5 . 安全装備

RX-8はスポーツカーでありながら、セダン並みの充実した安全装備を備えた。既述のデュアルステージフロントエアバッグ、プリテンション付きロードリミッタシートベルト、後退低減ブレーキペダルに加え、歩行者やチャイルドシート使用時の子供の安全性にも配慮した。

Fig.14に歩行者頭部保護ボンネットを示す。これは、先行段階からFEA解析を駆使し、アルミ製ボンネットのインナーパネルのくぼみ形状を最適化し、アルミの板厚を下げながら軽量化をはかり、より高いエネルギー吸収効率を確保した。これにより、従来のアルミ製ボンネットに比べ、約10%の軽量化を実現し、万一の際に歩行者が受ける頭部への衝撃を大幅に緩和させることができた。

後席左右にはトップテザーアンカー付きISO-FIX対応チャイルドシート固定機構を設定した。この機構により、チャイルドシートを確実に簡単に取りつけることができると

同時にトップテザーを使うことによって、万一の衝突の際にチャイルドシートが前方に回転することを防ぐことができる。

さらに、客室の各ビラーとルーフサイドトリム内には、衝撃吸収リップを設定し、衝突の際に乗員の頭部が二次的に内装部品に当たって受ける衝撃を緩和する構造としている。

6 . おわりに

本稿ではRX-8の衝突安全性能の概略について紹介した。車に個性が求められ、スタイリングが多様化する中、安全性に対する市場のニーズにも十分応えられるように、より高い目標を掲げ更なる技術開発を進めていきたい。

著 者



梶村 勇一



神本 一朗



竹下 弘明



胡木 隆



田中 祐充



平田 基晴

特集：RX-8

14

RX-8のドライブトレイン Drivetrain of RX-8

松ヶ迫 隆*¹ 梅岡光夫*² 松原伸幸*³ 沢崎朝生*⁴
 Takashi Matsugasako Mitsuo Umeoka Nobuyuki Matsubara Tomoo Sawazaki
 柏木慶司*⁵ 浦道雅邦*⁶ 佐々木和夫*⁷ 藤原卓治*⁸
 Keiji Kashiwagi Masakuni Uramichi Kazuo Sasaki Takuji Fujiwara

要約

RX-8におけるマツダのブランドDNAの「抜群の機能性、反応の優れたハンドリングと性能」を徹底的に追求することを重点課題としてドライブトレインを開発育成してきた。

RX-8のドライブトレインは、6速マニュアルトランスミッション（以下6MT）、5速マニュアルトランスミッション（以下5MT）、4速オートマチックトランスミッション（以下4AT）及び、これらに組み合わせるプロペラシャフトとディファレンシャルで構成されており、ブランドDNA実現に大きく貢献したActive Shiftをはじめ、今回開発した新技術の内容を中心に紹介する。

Summary

We have developed the RX-8 drivetrain with particular emphasis on Mazda brand DNA: surpassing features and highly responsive handling and functions.

The RX-8 drivetrain consists of a 6-speed Manual Transmission (6MT), 5-speed Manual Transmission (5MT), or 4-speed Automatic Transmission (4AT), a propeller shaft and a differential. This paper describes the mechanism of the Active Shift, which has made a significant contribution to Mazda brand DNA, and introduces some newly developed technologies.

1. はじめに

今回のRX-8に適用するトランスミッション（6MT、5MT、4AT）とプロペラシャフト、ディファレンシャルに採用した新技術を以下に紹介する。

2. クラッチ及びマニュアルトランスミッション

2.1 開発のねらい

ロータリスポーツの性能を遺憾なく発揮するため『ドライバの意のままに操作できる、小気味よいフィーリング』を合言葉に開発した。具体的には、好評のロードスター用6MT、RX-7用5MTを進化・改良することで、①ショートストロークと操作力低減の両立、②軽快、スムーズかつカチッと決まるシフトフィールの実現、③全回転域において、高い静粛性の確保を目指した。

5MTの構造を Fig.1、6MTの構造を Fig.2、5MT/6MTの主要諸元を Table 1 に示す。

2.2 構造と特徴

(1) クラッチ

MTの静粛性確保を目的に、ハイパワー車及びスタンダード車ともに、クラッチダンパの捻り剛性をRX-7比、約75%低減し、MTへ入力する角速度変動を全回転域で減衰させた。また、ハイパワー車では、エンジンの高回転化に対応するため、裏面側に強度重視、摩擦面側には摩擦性能重視の材料を一体成形した2層構造フェーシングを採用し、回転強度を確保した。

(2) マニュアルトランスミッション

① ショートストロークと操作力低減の両立

シフトストロークは50mmとRX-7で好評のショートストロークを維持しつつ、操作力を低減するために、5MT及び6MTともに、1st～3rdにトリプルコーンシンクロ機構を採用し、シングルコーン比約50%の操作力低減を達成した。

② シフトフィールの向上

シフト操作時の吸い込み感を向上させるために、5MTにはディテントボールに低 μ 樹脂製ボールシートを採用

* 1～8 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

し、フリクションを15%低減させた。6MTではディテントボールの背面に小径ボールを配置することで、フリクションを27%低減させた。

更に、6MTでは、スポーツ走行においても、より正確なシフト操作を可能とするために、プッシュ式Revセレクト機構を採用した。

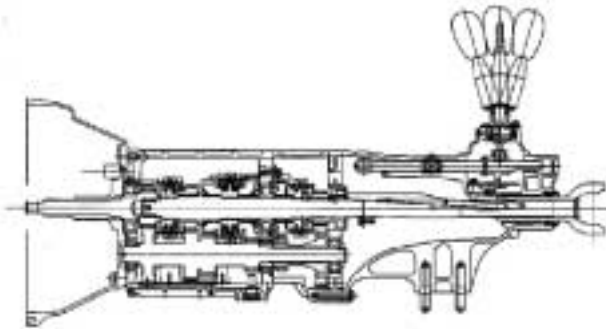


Fig.1 Sectional View of 5MT

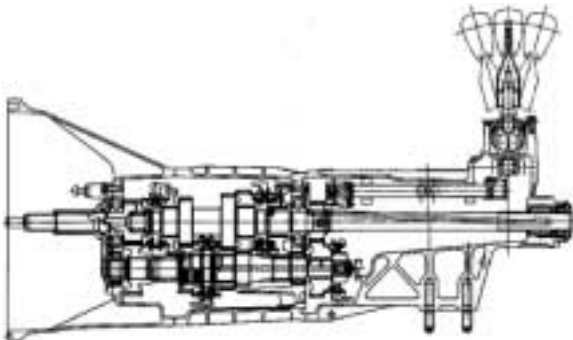


Fig.2 Sectional View of 6MT

Table 1 MT Main Specifications

		6MT	5MT
Clutch Size		236 × 160	225 × 155
Gear Ratio (JPN)	1st	3.760	3.483
	2nd	2.269	2.015
	3rd	1.539	1.391
	4th	1.187	1.000
	5th	1.000	0.806
	6th	0.894	-
	Reverse	3.564	3.288
	FGR	4.444	4.444
Synchro. Spec	1st	Triple Cone	Triple Cone
	2nd	Triple Cone	Triple Cone
	3rd	Triple Cone	Triple Cone
	4th	Single Cone	Single Cone
	5th	Single Cone	Single Cone
	6th	Single Cone	-
	Reverse	Single Cone	Single Cone
Shift Pattern			
	Shift Stroke	50mm	50mm



Fig.3 Example of Acoustical Holography

③ NVH性能の向上

ギャノイズ、こもり音等を抑制して静粛性を確保するために、FEM解析、音響フォログラフィ等を最大限活用し、ケースの全体剛性・局部剛性の最適化を図った。

音響フォログラフィ例を Fig.3 に示す。

3. 4速オートマチックトランスミッション

3.1 4速ATの開発のねらい

スポーツカーにふさわしいクイックな変速レスポンスとマイルドなシフトクオリティの両立と、リアでレスポンスな走りの実現を開発のねらいとして、新開発のステアリングシフトスイッチ付き4速アクティブマチックをスタンダードパワーエンジン搭載車に採用した。このトランスミッション (RC4A-EL) は、特にシフトダウン時のレスポンスを大幅に向上し、操作した瞬間に反応する俊敏でダイレクト感のあるシフトフィールを実現するとともに、高回転化に対応する小気味よいシフトアップを実現した。更に、従来のオートパワーモードを大幅に進化させたActive Shiftを採用し、加減速でのレスポンスとコーナリング時のコントロール性を向上させた。

3.2 主要諸元

RC4A-ELの構造をFig.4、ギヤ比一覧をTable 2に示す。

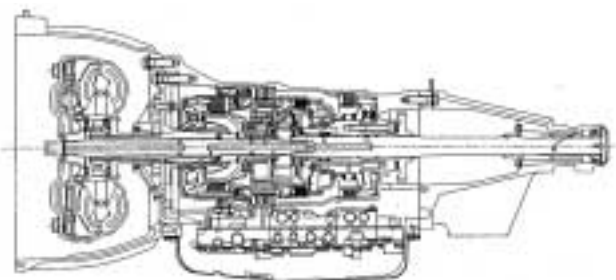


Fig.4 Sectional View of Transmission

Table 2 Gear Ratio of 4-speed Activematic

	For US	For Dom/ADR
1st	2.785	2.785
2nd	1.545	1.545
3rd	1.000	1.000
4th	0.694	0.694
Reverse	2.272	2.272
Final	4.444	4.300

3.3 変速レスポンスとクオリティの両立

クイックな変速レスポンスを実現するために、RC4A-ELでは、まず、変速レスポンスに影響する油圧回路のバルブスプリングやオリフィス径等のハード特性を、油圧応答が最速となるように最適化した。その変速レスポンスを維持しかつマイルドなシフトクオリティを実現するため、油圧の過渡応答を詳細にコントロールした。同時にエンジントルクの最適値を約10ms毎に演算し、最速タイミングでエンジントルクをコントロールすることで、急激な油圧応答時に発生するショックを低減した。更に、この高精度の油圧、トルクコントロールをばらつきなく確実に実現するために、シフトアップ時には油圧のリアルタイムフィードバック制御を採用し、その他の変速では、変速時油圧の学習制御を採用することで、ばらつきなくねらいの性能を実現した。これらの技術により、変速回転7,000rpmという高回転での変速においても変速時間を30%低減(当社従来比)し、クイックな変速レスポンスと、マイルドなシフトクオリティの両立を実現している。

3.4 リニアでレスポンスな走りの実現

(1) 変速制御のねらい

従来のアクセル踏み込み量で変速を決定するシステムでは、アクセル踏み込みと同時に発生する変速による駆動力段差や応答遅れにより、アクセル操作に対するリニア感やトルクのレスポンス遅れを感じてしまう。これを解決するため、アクセルを踏み込む前にドライバが求める駆動力に適したギア段を予め選択し、その後アクセルを踏み込んだ時には変速による駆動力段差や応答遅れがないリニアでレスポンスな駆動力を実現可能にした。

RX-8では、路面勾配の変化に対して余裕駆動力を最適化するスローブコントロールを採用し、更にドライバの加速度要求レベルを推定して、スポーツ走行時などに、より強い駆動力が得られる低速ギアを積極的に選択するActive Shiftを新たに採用した。

(2) Active Shift

① Active Shiftの作動

Active Shiftは、ドライバの加速度要求レベルを推定し、加速要求が強いと判断した場合は、より高車速まで2速または3速を保持する変速パターンを選択する。これにより、アクセルを全開に戻しても、シフトアップせずに低速ギアを保持することが可能になり、その後アクセルを再度踏み込んだ時は、変速することなく低速ギアで加速走行を開始することができる。

一方、ドライバの加速要求が小さいと判断した場合は、低車速から3速や4速に切り替わる変速パターンを選択する。これにより、一定速の巡航運転や一般の市街地走行を行うような時は、高速ギアを多用して、静粛性や燃費が向上する走行を可能にする。

② Active Shiftの特徴

上記の通り、Active Shiftでは、ドライバの加速度要求レベルに応じて、従来よりも加減速用と巡航用に特化した変速パターンを使い分けことが大きな特徴である(Fig.5)。しかし、変速パターンをアクセル開度操作量のみでドライバの加速度要求レベルを推定して決定すると、推定結果が実際のドライバの要求と異なった時に、不用意にエンジン回転が高い状態を保ったり、逆に加速しようと思うときに4速を選択してしまったりと違和感を発生させてしまう。そのため、アクティブシフトコントロールでは、従来パワーモード判定等で用いられてきたアクセル開度操作量による推定に加え、ドライバの運転操作の履歴から加速度要求レベルを推定するシステム(Fig.6)を取り入れて、ドライバの加速要求をより精度良く検出するシステムを構築した。

具体的には、市街地や郊外路、山岳路、高速道路やテストコース走行などのあらゆる走行シーンにおける様々なドライバの操作履歴を収集し、このデータベースより加速度要求レベルが強い場合、弱い場合の操作の特徴を関数化し、この関数を使って実際のアクセル操作量や車体加速度など加速度要求レベルに変換した上で判定するシステムとなっている。この結果、従来加速度要求レベルが強い場合に多

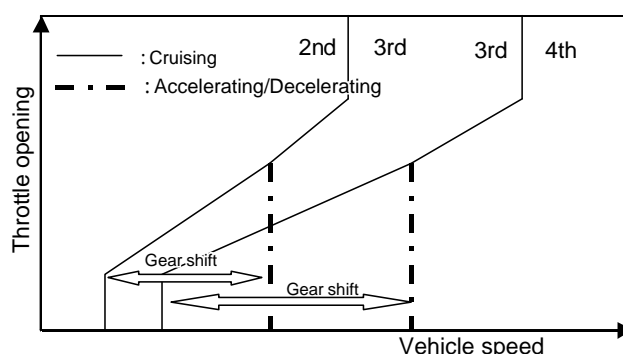


Fig.5 Cruising Pattern & Accel./Decel.Pattern

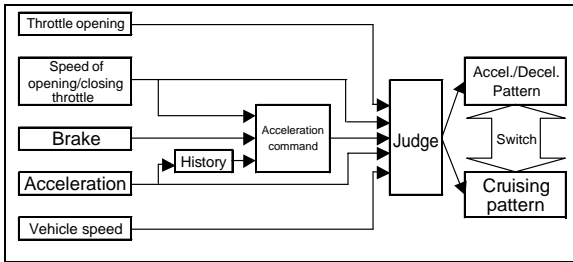


Fig.6 Control System Flow

く発生していたダウンシフト変速やアップシフト変速を約80%低減することを可能にし(当社従来比),かつ,加速度要求レベルが小さい時の違和感も起こらない変速制御を実現した。

3.5 操作性向上

RX-8ではフロアのシフトゲートはショートストローク化し,特に使用頻度の高いニュートラルとドライブレンジ間を短縮したことで操作ポジションを最適化し,クイックでスポーティなシフト操作を可能にしている。アクティブマチックでの変速は,チェンジレバーのアップ,ダウンスイッチに加えて,ステアリングホイール上に設定したステアリングシフトスイッチでも可能にした。これにより,シフトレバーの操作でシフトアップ,シフトダウンさせるスポーティな走行と,ステアリングを握ったままでのシフトチェンジを可能にし,スポーツカーとして素早く正確な操作が実現できた。

4. プロペラシャフト

4.1 1ピースコンポジットプロペラシャフト

走りを追求する6MT,5MT車にはカーボンファイバー強化樹脂製パイプを使用した軽量の1ピースコンポジットプロペラシャフトを採用した。その結果,スチール製2ピース構造プロペラシャフトに比べて3.7kgの軽量化と回転慣性モーメントの低減による走りへの貢献を図った。

2ピース構造プロペラシャフトにおけるセンターベアリング部のフロアマウントをなくし,駆動系の振動が直接ボディに伝達されるのを回避することで大幅な異音・振動低減を実現した。

4.2 プロペラシャフトの3次元一直線レイアウト

プロペラシャフトとデファレンシャル,及びトランスミッションをつなぐユニバーサルジョイント部に角度がついていると,デファレンシャルに伝達されるトルク・回転数に変動が起き,こもり音が発生し易い。そこでユニバーサルジョイントの3次元相対折れ角をゼロ度とし,トランスミッション,プロペラシャフト,デファレンシャルの駆動系を3次元で一直線にレイアウトした(Fig.7)。これにより駆動系での騒音・振動の発生を低減した。

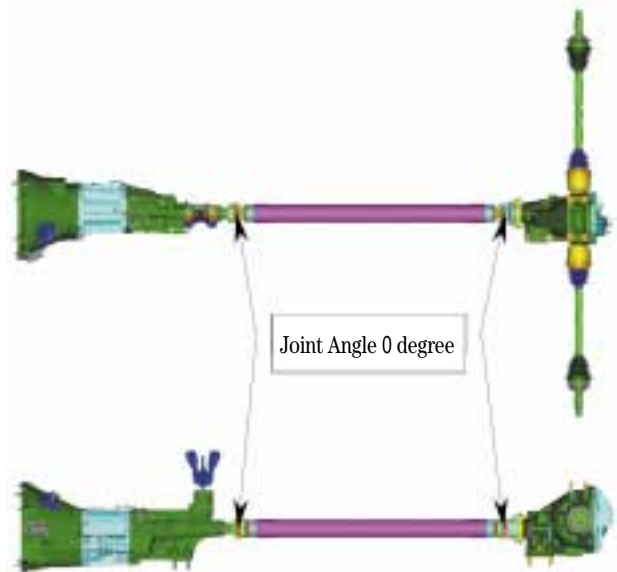


Fig.7 Straighten Driveline Layout

5. デファレンシャル

コーナリングや急発進時に車輪の空転を防ぐリミテッドスリップデファレンシャル(LSD)はスポーツ走行に欠かせない。RX-7にはトルクセンシングLSDを他社に先駆け採用し,アクセル操作に対する応答性や車両コントロール性,コーナ立ち上がりでのトラクションは市場で好評を得てきた。RX-8では好評の応答性,トラクションは維持しつつ車両コントロール性を更に進化させ,限界走行でも通常走行でも全てのドライバーが楽しく,安全に走れるLSDの開発を目指した。

これを達成するためにRX-8では低トルクバイアスレシオ(TBR),駆動方向に関係なく摩擦面が変化しない構造とした新しいトルクセンシングタイプLSD「スーパーLSD」を開発した。更にイニシャルトルク付加によって,加速/エンジンブレーキ間の駆動方向が変わる場面での差動制限力変化を抑えることでコーナリング中の車両コントロール性を向上させ,かつ発進時や直進走行時の車両安定性を増した。結果,車両コントロール性と安定性の両立を図ることができた。Fig.8にスーパーLSDの断面図, Fig.9に差動制限特性を示す。

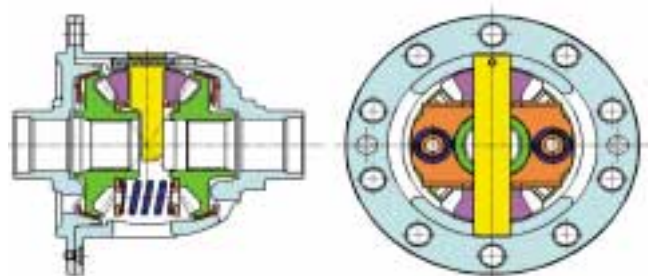


Fig.8 Structure of Super LSD

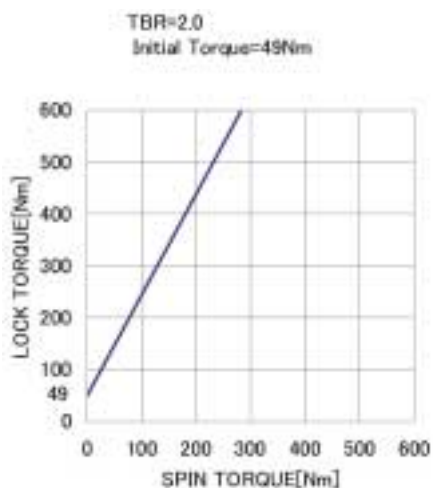


Fig.9 Characteristic of LSD

6 . おわりに

RX-8用ドライブトレインは快適な操作フィーリングと高い静粛性を実現しており、あらゆる走行シーンでその高い快適性を実感して頂けると自負している。

最後に、ドライブトレインの開発・生産に際し、ご協力・ご支援頂いた関係者、関連メーカーの関係者の方々に深く感謝致します。

著 者



松ヶ迫隆



梅岡光夫



松原伸幸



沢崎朝生



柏木慶司



浦道雅邦



佐々木和夫



藤原卓治

特集：RX-8

15

アルミ材新接合技術の開発

Development of New Welding Technology for Aluminum

村上 士嘉^{*1} 山下 浩二郎^{*2} 妹尾 安郎^{*3}

Kotoyoshi Murakami Koujiro Yamashita Yasuo Senoo

橘 昭男^{*4}

Akio Tachibana

要約

マツダは、「Zoom-Zoom」に現されるブランドイメージのもと、お客様に喜びや感動を与える車造りを目標に、新しい車の開発に取り組んでいる。その中で我々は、操ることの楽しみを味わえ地球環境にも配慮した車を開発するとともに、その車を生産する設備、工程においても環境に配慮した物造りを実践している。塗装領域では、揮発性有機化合物及び二酸化炭素排出量を大幅に低減する新塗装技術、パワートレイン領域では、使用する切削液を大幅に削減したセミドライ加工等に取り組み、成果を上げている。車体領域では、RX-8のボンネット及びリヤドアに採用されたアルミ材の接合において、水及びエアを一切必要とせず、接合に使用する直接エネルギーは摩擦熱のみで加工を行うことが可能な最も環境に配慮した接合技術を開発し、RX-8の生産設備として展開した。

Summary

Mazda has been developing new products based on the brand image "Zoom-Zoom", aiming at development of vehicles that deliver pleasure and emotion to customers. Under this situation, we practice creating production facilities, process that consider the global environment in addition to providing low emission vehicles for fun to drive. Through these activities we have obtained good results, for example, "Development of new environmentally friendly coating technology to reduce Volatile Organic Compounds and CO₂ Emissions" in painting area and "Adoption of a semi-dry machining process to reduce the amount of lubricant required" in a powertrain area. In a body production engineering area, we have developed welding technology for an aluminum engine hood and a rear door of RX-8. This technology uses only friction heat energy for welding without any use of cooling water and air. With special consideration given to environment, it has been introduced into production facilities of RX-8.

1. はじめに

現在、各自動車会社においては低燃費、エミッション低減、動力性能の向上等、顧客満足度向上を目的としたボデー軽量化技術に関する開発が盛んに行われている。マツダのDNAの一つである「反応の優れたハンドリングと性能」を実現すべく、RX-8でも動力性能の向上を狙い、種々の軽量化技術を折り込んでいる。ここでは、その中の一つである鋼板のアルミ材への置換について紹介する。

マツダは、国内メーカーの中で先駆けてボンネット等の自

動車部品へアルミ材を適用している。しかし、アルミ材はその特異な材料特性に起因し非常に溶接が困難な材料であり、生産現場における品質の維持管理において課題を抱えていた。

この度、我々が開発しRX-8に適用した接合技術は、これまでの課題を解消し低設備投資、且つ高接合品質を容易に享受でき、アルミ材の接合において優位性の高い技術である。我々はこの技術開発を単なる自社の成果のみを考えたものにはせず、本接合技術を用いたロボットシステムの構築を図り、アルミ材を使用している製造業において効果が

* 1 ~ 4 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

得られるよう、社外メーカーより本システムの販売を開始した。以下に、本開発に関する取り組みを紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 アルミ材の溶接特性

Table 1 に示すとおり、アルミ材は鋼材に比べ非常に電気を通しやすく熱を伝えやすい材料である。抵抗溶接において電気伝導度が高いことは、材料を溶融させるために必要となるエネルギーが大きくなることであり、熱伝導度が高いことは、材料内を伝わって放熱される熱量が増加することを示している。更に、熱膨張係数及び凝固収縮率に関しても鋼材に比べ大きいため、溶接に伴い急激な膨張収縮が発生し、歪みや割れの要因となっている。つまり、アルミ材は鋼材に比べ溶融接合に非常に不向きな材料であるといえる。

2.2 アルミ材の溶接設備

上記にも述べたとおり、抵抗溶接にてアルミ材の接合を行うには、その高い熱及び電気伝導度のもと放熱を抑え材料を溶融させるのに必要な発熱を生み出すため、瞬間的に大きな電流を流し瞬時に溶融させることが重要である。ただし、溶融後急激に冷却を行うと材料の膨張収縮により接合部及び熱影響部に割れが発生する。このため、溶融後低電流を流すことにより除冷することが必要である。

従って、接合において上記の条件を満たし加工を行うために使用する溶接機は大型化及び専用化となるため設備投資は増大し、アルミ材の適用において大きな負担となる。

また、急激な発熱を行うことにより消耗品である電極等の損耗も激しく、加えて非常に大きなエネルギーを使用するため生産コストも増大する。

2.3 要求されるシステム像

開発に着手するにあたり、狙うべきポイントとしては

- ・溶融を伴わない接合技術の開発 拡散接合等
- ・溶接に使用する付帯設備の削減 投資削減
- ・溶接に使用するエネルギーの削減 生産コスト削減

であり、すべての項目に関しその要求を満足し、効果を得

る工法及びシステムを構築することが目標である。また、マツダにおいては、すでにロードスター、RX-7など、アルミ材を使用している車両があるため、これらの既存車両への適用も考慮し、設計要件及び生産要件に大きな変更を与えないシステムを開発することが必要である。

3. 接合法の開発

3.1 摩擦点接合

(1) 新接合法の特徴

上述したアルミ接合における各課題を解決する新しい接合法として摩擦点接合 (Spot Friction Welding; 以下 SFW) を開発した。この接合法は、Fig.1 に示すとおり回転させた接合ツールと、ショルダー (Fig.2) とほぼ同径の下部受け具を接合ツールに対向する位置に配置し、上下より一定の加圧下で材料を把持することにより単位面積あたりの圧力を増加させる。これによって接合ツールと材

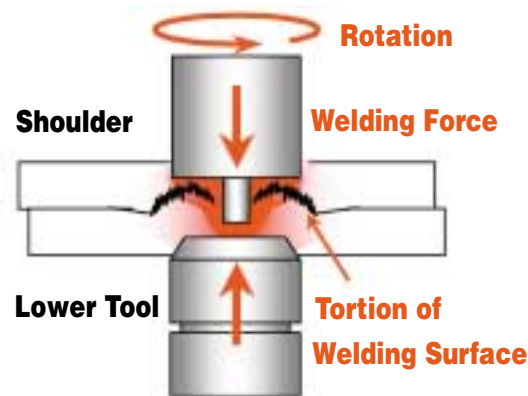


Fig.1 Tools for Spot Friction Welding

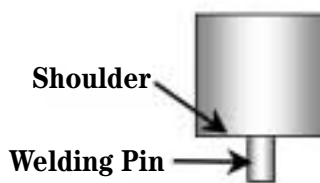


Fig.2 Welding Tool

Table 1 Comparison of Material Parameter

項目	アルミニウム合金	鋼	溶接性との関係	
溶融熱量	質量当り	0.80	1	・溶接入熱の目安
	体積当り	0.33		
熱伝導度	4.0 ~ 5.0	1	・溶接入熱の与え方 例えばスポット溶接では大電流短時間通電とする	
電気伝導度	3.0 ~ 5.0	1		
熱膨張係数	2.0	1	・溶接歪みの発生 溶接施工方法による対策	
凝固収縮率	1.5	1	・溶接割れの発生 溶加材や溶接速度の選定	
酸化性	・酸化しやすい ・強固な高融点の酸化皮膜形成		・融合不良, 介在物の発生 酸化皮膜除去, アークのクリーニング作用や溶接部のシールドの適用 ・酸化皮膜によるスポット溶接時の電極の損耗 酸化皮膜除去, 溶接条件の検討	
固液間での水素溶解度の差	9.0	1	・ブローホール発生 水素源の除去	
割れ感受性	・合金成分に依存		・凝固割れ, HAZ割れの発生 母材, 溶加材, 溶接速度及び層間温度の選定	

料間により大きな摩擦抵抗を発生させ材料を急激に軟化し、界面を接合ツールの旋回により大きくなじり結合力を発生させる接合技術である。これは単に抵抗を増加させるだけではなく、接触径を小さくすることにより放熱を抑え、蓄熱効率を上昇させる効果をも生み出すものであり、従来の抵抗溶接に比べ生産効率を落とすことなく短時間での接合を可能としている。以下にて、その詳細説明を行う。

(2) 接合メカニズム (SFW)

SFWでは、上下に配置されたツールにて一定の加圧力で材料を把持することにより瞬間的に接合ピンを材料内に圧入しショルダー面を接触させている。このことにより、接合初期よりショルダー面の旋回による発熱が得られ材料は急速に軟化し、その材料特性に示すように膨張しようとする。加圧を受ける下部受け具を、ショルダーとほぼ径等にしたことにより単位面積あたりの圧力は上昇し、得られた膨張力はこの増加した圧力により接合部内に保持されることとなる。この内部圧の上昇が接合ピンと材料間の抵抗を更に上昇させ、接合ピン周辺の塑性流動を促進する。しかし、重ね継ぎ手の点接合においては、接合を行う材料の接触面（界面）と接合ツールの接触部は接合ピン周辺部のみで、突合せ継ぎ手の連続接合における界面全面に渡る接触とは異なり塑性流動による攪拌にて十分な接合強度を得るのは困難である。SFWにおいては、蓄熱効率の上昇により加圧保持領域全体の軟化状態を促進させ、ピン周辺部及びショルダー下部の塑性流動と内部圧の上昇により流動部周辺の界面を大きくなじり、更にその結合状態を緻密にすることによって接合強度を発生させている。

つまり、SFWは塑性流動 (Fig.3 c部) と界面のねじり (Fig.3 b部) による圧接力の向上によって接合を行う接合法である。Fig.3及びFig.4は、その接合状態を示したものである。

(3) SFWの課題

SFWでは、接合ツールの動作制御を位置制御ではなく

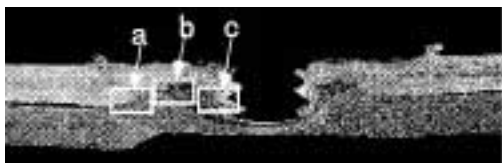


Fig.3 Cross Section of SFW

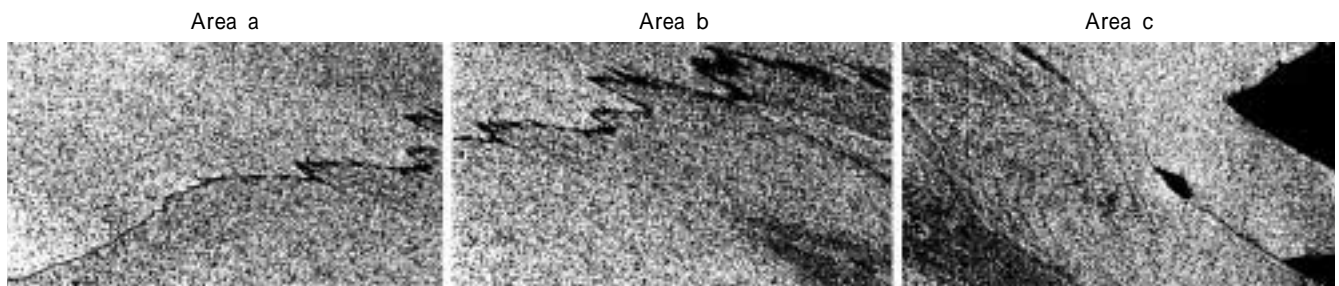


Fig.4 Enlarged View of SFW

加圧力制御（トルク制御）にて行っているため、板厚減少による母材の強度低下が発生する。制御パラメータをコントロールすることにより、板厚減少が進まない接合初期での強度確保が本接合における重要な課題である。

4. 接合装置の開発

4.1 接合ガンの開発

SFWは、接合ツールを旋回させた状態でそのツールと対向する位置に配置された下部受け具との間に一定の加圧力を保持しながら材料を把持することにより接合を行う技術である。よって、その接合ガンに要求される機能としては、

- ・安定した旋回駆動が行える
- ・安定した加圧駆動が行える
- ・両方の駆動を同期させ高精度で制御可能とする
- ・容易に3次元形状のワークに対しアクセスできる

ことである。

加圧駆動においては、従来より使用している抵抗溶接ガンの制御能力向上を目的とした剛性向上、及び摺動抵抗の低減にポイントを絞って開発を行い、旋回駆動においては、上記の加圧駆動に対し影響を与えることなくツールに旋回力を伝達する構造、及び旋回中心がズレない工夫（軸受けの配置、スプラインの共振対策、旋回振動の低減、接合ツール固定方法など）にポイントを絞って開発を行った。また、その加工動作の利便性について従来より使用している抵抗溶接の溶接ガンとほぼ同形状とすることにより、生産要件に影響を与えることなく展開が行えるように配慮した。

4.2 SFWロボットシステムの開発

3次元形状のワークに対し加工を行うにあたっては、製品形状に影響を受けることなく施工可能となる汎用性が重要である。従来より使用している抵抗溶接においてはこの汎用性を得るため、多関節ロボットを用い複数の製品を1台のロボットにて加工が行えるよう考慮して設備展開が行われている。本接合システムにおいても例外ではなく、多関節ロボットを用いたシステム構成をベースに開発に着手した。

その開発における留意点は、付帯設備を削減するため、加圧軸及び旋回軸をロボットの一軸として同期制御することにより、ロボット以外の溶接設備を一切必要とせずシステムを構築することである。本システムの開発においては、



Fig.5 Robot System of SFW

ロボット本体のハード及びソフト領域の開発要素が大きい
ため、ロボットメーカーである川崎重工業株式会社と共同で
システムを開発した。

本システムは、接合に用いる直接エネルギーが摩擦熱のみ
であるため、Fig.5に示すとおり冷却水ホース、エアホ
ース、溶接ケーブル等は一切なく2軸分のモーターハーネスの
みがアーム上に配置される非常にシンプルなシステム構成
となる。これは、単に付帯設備を削減することによる初期投資
の低減を可能とするばかりではなく、量産における保守
費用の面でも大きな効果を生むこととなる。また、電極等
の消耗品についても一切発生しない(接合ツール及び下部
受け具については接合による摩耗は発生しない)こと、及び水、
エア、溶接電流等のエネルギーを使用しないで接合を行
うことにより生産コストの面でも大幅な削減を実現して
いる。

本システムは、従来工法に比べ大幅にその接合コストを
削減し、エネルギー消費を抑え環境にやさしい設備として構
築している。

4.3 制御能力

接合ガンにてワークを把持する際、付加する加圧力はそ
の姿勢による駆動部にかかる重力の影響により変化する。
本システムにおいては、姿勢変化に対する補正機能や加圧
制御ロジック及び制御パラメータの設定 調整手順に関し、
徹底した評価検証を実施し制御能力の向上を図った。その
結果、加圧制御能力については、ガン下向き～上向き間全
ての姿勢においてFig.6に示すとおり±50N以内のバラツ
キに抑えるまでの制御能力を実現している。また、加圧時
ワークに与える負荷についても、上下ツールの同着性能及
び開放時のしゃくり量は±0.3mm以内、加圧保持位置に関
しては±0.1mm以内に抑えている。この非常に高い制御能
力によって接合品質の安定確保を実現している。

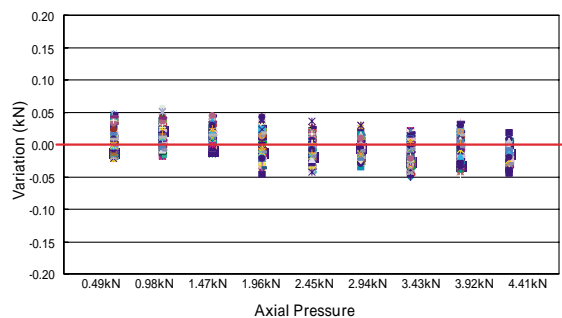


Fig.6 Control Capability of Welding Force

5 . 接合特性

5.1 各接合条件の影響

(1) SFWの接合条件

SFWで使用する接合条件は、加圧力、回転数、接合時
間の三つである。量産での加工において接合品質を容易に
安定確保するためには、各接合条件を変化させたときの影
響を定量的に評価しその接合特性を把握した上で最適接合
条件の設定を行うことが重要となる。

(2) 加圧力の影響

回転数を一定の条件にて固定し、加圧力を変化させた場
合の引張り試験結果についてFig.7に示す。引張り強さは、
設定加圧力を上げることに伴い上昇し、最大引張り強さが
得られるのに要する時間は短縮している。しかし、設定加
圧力が低い場合は最大引張り強さが得られた後、接合時間
を延ばしても得られる引張り強さに変化はないが、設定加
圧力を上げると最大引張り強さが得られた後、接合時間の
経過とともに引張り強さの急激な低下が確認されている。
加圧力を上昇させることは、ツールと材料間の抵抗が上昇
し接合初期に得られる発熱量を増加させ材料の軟化を促進
させる効果があるといえる。

本システムにおいて接合中のツールは、常に定加圧力を
保持するよう制御しているので、設定加圧力が高い場合得
られた抵抗は材料の状態変化にほぼ影響を受けず保持され
る。よって、得られる引張り強さは上昇し、最大引張り強
さが得られるのに要する時間も短縮する。また、その高い
抵抗を保持した状態にて加圧を付加し続けることにより急
激な板厚減少が発生し、最大引張り強さ発生後の強度低下

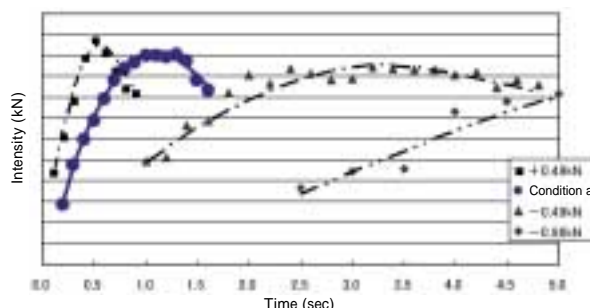


Fig.7 Effect of Welding Force

を起こしていると考察される。

接合時間を固定した場合についてFig.7に示す検証結果を考察してみると、同一の接合時間において加圧力が0.49kN変化しただけでも得られる引張り強さは大きく変化している。つまり、加圧力が引張り強さに大きく影響を与えるパラメータであることを示す。

(3) 回転数の影響

加圧力を固定し、回転数を変化させた場合の引張り試験結果についてFig.8に示す。引張り強さは、ある一定の設定回転数までは上昇するが、その設定回転数以上の回転数を設定した場合得られる引張り強さは低下し一定値にて保持してしまう特徴がある。ただし、得られる引張り強さの立ち上がりは、設定回転数の上昇に伴い短縮している。

SFWにおける引張り強さは、塑性流動とその周辺部の界面のねじり状態にて決定されるため、回転数を上昇させた場合単位時間あたりの発熱量が増加し短時間で材料が軟化され、軟化した材料はツール回転数の上昇に伴い塑性流動速度が上昇し流動部周辺の界面をより大きく緻密にねじることによって得られる引張り強さを上昇させその立ち上がり時間を短縮している。しかし、塑性流動は加圧力によって付加されるツールと材料間の抵抗によって発生するものであるため、抵抗を固定（加圧力を固定）した場合塑性流動速度は回転数の上昇に伴い上限なく上昇するのではなく、付加された抵抗によってその上限速度が決定される。

よって、Fig.8に示すとおり一定の回転数まではその回転数に伴い塑性流動速度が上昇し引張り強さが上昇するが、付加された加圧力に対し上限値以上の設定を行うと、設定回転数に対し塑性流動が追従できなくなりツールと材料間にて滑りが発生し引張り強さの上昇が停止する。

この接合特性に関し、Fig.7及びFig.8を用いて説明を行う。Fig.7に示す条件a（印の特性カーブ）と、Fig.8に示す+500rpm（印の特性カーブ）の接合条件は全て同一であり、先に述べたとおり加圧力に対し回転数の設定値が高く材料内での塑性流動に滑りが発生しているものである。この状態にて、回転数を変化させず加圧力を0.49kN上昇させたのがFig.7の+0.49kN（印の特性カーブ）である。加圧を上昇させることにより抵抗の上昇が得られ、滑りの発生を抑制し塑性流動を行うことにより引張り強さ

が上昇していることが確認できる。

5.2 接合条件の設定

上記にて述べた、その接合特性を十分に踏まえた上で各特性をバランスさせることにより様々な外乱によるバラツキを吸収し安定した接合品質を確保するための接合条件の設定が、SFWにて接合を行う際の重要なポイントである。下記にその適用例を示す。

材料の表面抵抗の変化（成型油、防錆油、傷等）に対しては、ショルダー面の滑りによる発熱量の減少が予測される。よって、使用する接合条件は加圧力に対し回転数の設定を高くし初期発熱を上昇させることによりショルダー面の抵抗を安定させ、接合時間を長めに設定することによりその処理に要する時間のバラツキを吸収させる。この条件設定において重要なのは、回転数の設定を上げ故意に塑性流動の滑りを発生させることにより、最大引張り強さ到達後の板厚減少を抑え接合時間延長による引張り強さの低下を抑止しておくことである。

このように他の外乱（板間隙、ツールの温度上昇、時効硬化、加工硬化等）に対しても、その状況に応じた条件設定を行うことにより対策が可能である。

5.3 接合品質

(1) 引張り強さ

SFWでの引張り強さは、使用する接合条件に大きく影響を受けることはもとより、接合ツール形状（ショルダー形状及び径、接合ピン径及びピン長等）に起因するところが多い。ノーマルなフラット面ショルダーを有する接合ツールにて、接合を行った時の引張り試験結果をFig.9に示す。1.0mm 2枚重ね及び1.0mm×2.0mmにおいては2.0kN～2.3kN、1.6mm×2.0mmでは3.2kN程度の引張り強さが得られている。この引張り強さは、ツール形状を変更することにより更に上昇させることも可能である。

また、6000系同士の接合においては、融点付近まで温度を上昇させ接合を行うため、ベークハード効果により接合後1～3日程度自然放置することで得られる引張り強さが上昇する傾向があることが確認されている。（上昇率は10～20%程度）

(2) 耐食性

SFWにおける耐食性評価については、Fig.10に示すとおり

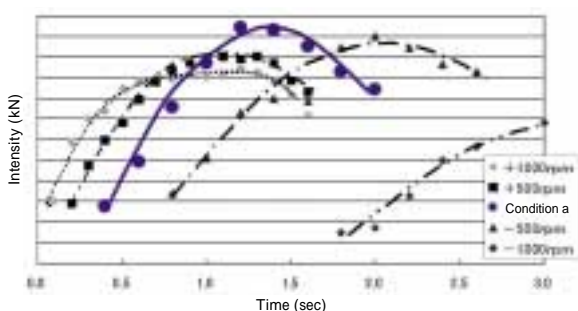


Fig.8 Effect of Rotation Speed

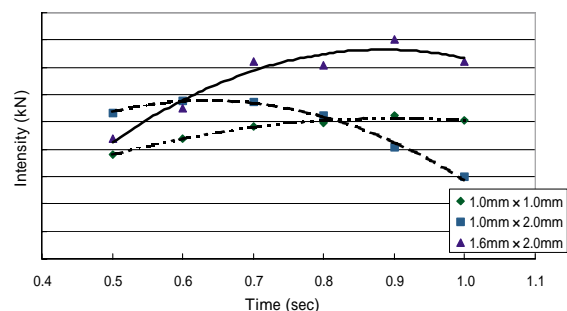


Fig.9 Tensile Strength



Fig.10 Evaluation Corrosion Protection

り、従来の抵抗溶接と比較しても同等以上の耐食性を有していると言える。

6. 環境に対する配慮

6.1 接合装置

環境対策の究極の目標は「設備を使用しないこと」「エネルギーを使用しないこと」であり、本開発においては、徹底した機能評価を繰り返し実施することにより各装置の性能や特性を十分に把握し、その性能を損なうことなく各装置を構成することに配慮してシステムの構築を図っている。

その取り組みにおいて一例を挙げると、接合ガンの開発においては単に加圧駆動を行うユニットに旋回駆動を付加するのみではなく、その構造設計を行うにあたり徹底した動作抵抗（摺動抵抗）の削減を図りエネルギー使用量を低減させ、その旋回部の制御においては専用の制御ユニットを起こすのではなくロボットの一軸として制御を行うようにし付帯設備の追加を抑制している。また、これらのことにより接合ガンの動作性能（加圧力、回転数）を低下させないように、その制御ロジック及び補正機能に修正を加え対策を施している。

6.2 接合条件

環境に対する配慮を行っているのは、システムのみではなく接合条件の最適化による使用エネルギーの削減に関しても対策を実施している。例えば、材料の急激な形態変化を抑制するため接合条件を低めに設定し接合時間を延ばすことにより接合を行う場合、発熱量を抑え軟化の進行を遅らせることによって歪みの低減は図れるが、それに反し接合時間が延び放熱される熱量も増加するので使用エネルギーは増加してしまう。この場合、単位時間あたりの発熱量を増加させ接合時間の短縮を図るため接合条件を上げることにより使用エネルギーを低下させることが有効となる。ただし、瞬間的な発熱により歪みの発生においては不利となるため材料の剛性等に適した接合条件の最適化が重要である。

6.3 エネルギー消費

Fig.11に接合中の電流使用量を示す。使用する電流は約1/2000（図中SFWは縦軸スケールを1000倍している）、電力は約1/80に抑えられている。抵抗溶接とは異なり接合ツールが材料に接触した時点から接合が開始されるため、電流の使用時間は増加しているが使用量そのものが非常に小さいため大きな効果が得られている。また、接合時間への影響についても抵抗溶接の場合、加圧安定までの時間及

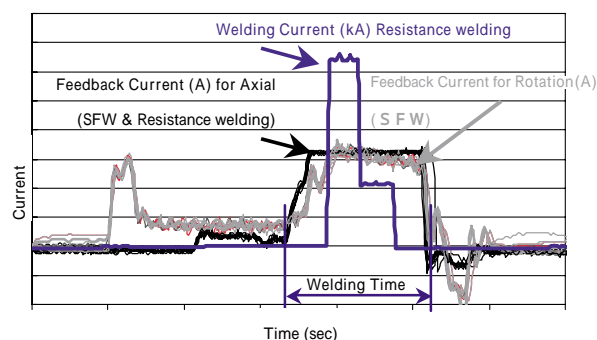


Fig.11 Energy Usage through Tooling

び加圧保持時間等が付加されるため生産効率の低下に影響は与えていない。

7. おわりに

現在、技術者に求められる技術開発の姿は、単に要求される品質や機能のみを満足させるだけのものではなく、それを使用する環境にまで十分な配慮がなされたものでなければならない。SFWは、設備投資、生産コスト、生産性、接合品質、環境保護等あらゆる面において非常に優位性の高い接合技術であり、上記に示す技術開発のあるべき姿を示すべき物である。我々は、この技術を更に改良しポデーを構成する大半の部品へ適用すべく、材料及び継手構造などに対しロバストな接合技術へと高め、低設備投資で安定した接合品質を容易に享受でき、また環境に配慮したやさしい生産設備としての完成度を高める技術開発に今後も継続し取り組みを行っていく。

最後に、ロボットシステムの開発に対し協力して頂いた川崎重工業株式会社殿、及び本接合ガンの開発に対し協力して頂いた株式会社井上製作所殿に感謝の意を表します。

著者



村上士嘉



山下浩二郎



妹尾安郎



橋 昭男

特集：新型デミオ

16

新型デミオの紹介 Introduction of New DEMIO

藤原清志*1 平嶋秀一*2
Kiyoshi Fujiwara Hidekazu Hirashima

要約

先代のデミオが切り開いたコンパクトワゴンというカテゴリーは、その後の競合車の増加とともに大きく拡大し重要度を増している。ここに導入した新型デミオはエンジン・プラットフォームを含めAll Newとし、アテンザに続きマツダのDNAである走りと安全性を体現するとともに、先代デミオゆずりの機能とパッケージングを更に洗練している。また幅広い顧客を獲得するため「3 cars from 1」というキーワードのもとそれぞれ個性化・差別化した3つのグレードを展開している。

Summary

A compact wagon category, which was created by the first Demio, has grown up and had much importance and followed by followers of many competitors. For this category, we introduced New Demio including a new engine and a new platform. New Demio had inherited Atenza by realizing Mazda DNA of dynamic and safety performances, and also has realized Demio DNA of functionality and superior packaging with further sophistication. We have been deploying three differentiated/characterized grades with a keyword of "3 cars from 1" to get a wide spectrum of customers.

1. はじめに

先代のデミオが切り開いたコンパクトワゴンというカテゴリーは、その後の競合車の増加とともに大きく拡大しており、重要度も高まっている。

デミオのモデルチェンジにあたっては、アテンザに続きマツダのDNAである走りと安全性を体現するとともに、デミオのDNAであるパッケージと使い勝手のよさを受け継ぎより高めることを狙った。また幅広い顧客へアピールする商品にすることも同時に求めた。

これらを実現するためにエンジン/プラットフォーム/ボデーをすべて新しいものにするとともに「3 cars from 1」というキーワードのもとそれぞれ個性化・差別化した3つのグレードを展開した。

本稿ではコンセプト、デザインを含む車全体の概要を紹介する。

2. 商品コンセプト

基本コンセプトは「インテリア空間の快適性と優れたダイナミクス性能で心も体もアクティブに解放するコンパクトワゴン」である。

インテリアは「自分の部屋にいるような居心地のよさ」をキーワードに開発をすすめた。

またダイナミクス性能は、欧州車に見られる走行時のなめらかさやステアリング操作時の気持ちよさ、フィーリングを目指した。

その上でそれぞれ個性的な性格/方向付けを行った3つのグレードを展開することにより、幅広い顧客層にアピールすることを狙った。「使う楽しさ」のCasual、「運転する楽しさ」のSPORT、そして「気持ちいいインテリア」のCozyの3つである。これを「3 cars from 1」と呼んでいる。

更にCozyのバリエーションとして「明るい色調の木と革を用いた北欧のモダンインテリアテイストの上質な室内

* 1, 2 第5プラットフォーム・プログラム開発推進室
Platform & Program Management Office No.5

空間」のSuper Cozyも設定した。

3. 車種構成と主要諸元

3.1 車種構成

ボデータイプはステーションワゴンのみで、これに新開発の直列4気筒1.3Lと1.5LのMZRエンジンを搭載する。

Table 1 Powertrain Line-up

Drive	Engine	Transmission
FWD	1.3L	Electronic Controlled 4 Speed Automatic
		5 Speed Manual
	1.5L	Electronic Controlled 4 Speed Automatic*
		5 Speed Manual

* Activematic for SPORT grade

3.2 主要諸元

オプションのホワイトキャンバストップやルーフレールを装着した状態でも、デミオの良さである「立体駐車場に入る全高」を保った。

ホイールベースと前/後のトレッドを先代のデミオから拡大しマツダのDNAである走りの実現に寄与している。

取り回しのよさを保ちつつ全長/全幅も拡大し、室内の広さ特に運転席/助手席間距離の拡大などによる快適な室内空間を実現している。

Table 2 Key Dimensions

Overall length (mm)	3925
Overall width (mm)	1680
Overall height (mm)	1530/1545*
Wheelbase (mm)	2490
Tread Front/Rear (mm)	1475/1450

* Normal Roof/with Canvas-top

4. 新型デミオの特徴

4.1 エクステリアデザイン

フロントからボデーにかけての力強いショルダーセクションやタイヤの張り出し感を演出するホイールリップ形状などによる塊感のあるデザインにより、デミオの機能特徴的に表現するエモーショナルで若々しいエクステリアデザインとした。

フロントフェースは5ポイントグリルを基本としたマツダファミリーフェースとした (Fig.1)

またリヤビューはワイド感を強調する水平基調のリヤコンビランプとし個性を出した (Fig.2)

外装色は13色を設け、更にSPORTではディスチャージヘッドランプとエアロパーツでよりスポーティな外観を演出した。



Fig.1 Front Exterior Styling



Fig.2 Rear Exterior Styling

4.2 インテリアデザイン

インストルメントパネル上面を低くフラットにして圧迫感をなくし、ホームオーディオのようなすっきりとしたセンターパネルや明るい色合いの内装色と合わせ「自分の部屋にいるような居心地のよさ」を実現した。

Cozyではベージュ基調の内装とし、外板色に対しシート生地/ドアトリムパネル/カップホルダのカラーコーディネートを行ってよりいっそうの居心地のよさを演出した (Fig.3)。更にCozyでオプション設定されているホワイトキャンバストップでは、透過光による柔らかな光にあふれる明るい室内空間による更なる開放感を実現した。



Fig.3 Interior Styling of Cozy Grade



Fig.4 White Canvas Top

一方SPORTではダークブルーの内装とし、各所にちりばめたシルバーとの対比で走りのイメージを演出した。

4.3 ホワイトキャンバストップ

従来のキャンバストップが完全に遮光するのに対し、トップレザーとシーリングレザーに白色で透光性の素材を用いることにより閉めていても光を淡く透過するキャンバストップをCozyにオプション設定した。可視光線の透過率は5%で紫外線は透過しない。

白色ということで懸念される汚損については、トップレザーの表面にフッ化ビニリデンという素材のフィルムをラミネートし優れた防汚性を実現した。表面汚れは水や食器用洗剤を使って簡単に落とすことができる。

キャンバストップを開いたときには大型の可倒式デフレクタが立ち上がり風の巻き込みをおさえ、120km/hでも快適な走行を楽しめる。また閉めた時にはデフレクタはルーフと平行に一体となり空気をスムーズに流してキャンバストップのバタツキによる騒音を抑制する。

また前後方向の開口長さが727mm、幅が636mmという大開口だが、キャンバストップのフレーム剛性およびボデーとの結合方法についてコンピュータ解析を行い、重量増加を抑えつつルーフ強度/ボデー剛性のいずれもノーマルルーフと同等に仕上げた (Fig.4)。

4.4 パッケージング

大人4人がしっかり座れ、立体駐車場に入り、後席をたためばマウンテンバイクが2台乗せられる先代デミオの基本的なパッケージングを維持した。更にコンパクトカーにありがちな乗ったときの窮屈な感じをなくすべく、運転席/助手席のゆとり感に大きく影響する幅方向の室内寸法および乗員の間隔を拡大した。

その上で荷室については開口部の下端を低くするとともに段差を極力なくし、また荷室側面の凹凸をなくしたすっきりしたトリム形状にして使いやすくした。

またリヤシートバック上端から20cmほど下で荷室を上下2段に仕切るフレキシブルボードを新設し、上側にジャケットを、下側には外から見えないように荷物を置くとい

った使い方を可能とした。これは室内側/荷室側の双方から前後方向に半分に折りたたみ可能で、床面に敷いて大きい荷物を載せることもできる。これらによりさまざまなラゲッジルームの使い方を可能とし使い勝手を向上させた。

小物入れについてもこだわった。きれいな使い方ができるようグローブボックスを①取り外し可能なBOXを内蔵した部分と②ボックスティッシュが入る奥行きを持った部分の2つに分け、その上部には小物類をちょっと置くのに便利なトレイを設定、またインストルメントパネル上面の中央部にフタ付きの小物スペースを備えた。

シートについては先代のデミオが持っていた機能はすべて織り込み、更に①荷室側からの3回の操作だけでヘッドレストを取り外さずにリアシートをダブルフォールドできる、②リヤショルダーレストを上方向にはずせるように変更し(先代で脱着に必要だった)シートバックをたたむステップなしにフルフラットにできる、③シートスライド操作レバーの位置をシート端部の下側から中央部にかえ、また操作しやすいタオルバー型を採用する、など細部にわたり操作性を改善した。

またフロントシートはアテンザと共通の基本構造を採用し、ラチェットレバー式のシートリフターと250mmの大きな前後調整スライド採用で身長150cmから190cmまで対応している。また運転席にはデミオユニークの角度調整機能付きのアームレストもオプションで設定した。背もたれの角度を調節したのに合わせ3.5度きざみ8段の角度調節が可能で、運転者の好みに合わせることが可能。

更にシートのホールド性の改善と疲労低減のため、走行中の圧力分布測定データを基にクッション形状や硬度をチューニングした。なおCozyのサイド部にはスエード調のさわいい心地のよい生地を採用するなどグレードによりシート布地を変更しており、それに応じチューニングを変えている。

その他、後席ドアが開く角度を先代デミオの67度に対して80度まで拡大しチャイルドシートの取り付けや子供の乗せおろしを容易にしている。なお、後席ドアを全開にしたときの外側への張り出し量は先代のデミオと同等にしている。

4.5 ボデーストラクチャ

車体全体としての曲げ剛性/ねじり剛性を高めるためにCAEを多用した。その結果として、ベースボデーへのテールロードブランクの活用やセンタートンネルの左右部分を強固につなぐメンバ追加を行った。

それに加えてフロントストラットタワーバーやリヤサスペンションタワー部へのガセットプレートの追加などサスペンションメンバ取り付け部について局所剛性の確保にも注力し、マツダのDNAである走りを実現するに十分なボデー剛性を確保した。

4.6 サスペンション

フロントをマクファーソンストラット形式 (Fig.5), リヤをトーションビームアクスル形式 (Fig.6) とし, フロントについては大型かつまっすぐな形状のクロスメンバを採用, リヤについてはトーションビームの大型化と板厚アップによりサスペンション剛性を向上させた。その上で前後のサスペンションのマウントをダンパのスムーズな作動を妨げない入力分離タイプとしてダンパの作動特性の最適化を可能とした。またリヤについては初期応答性に優れたモノチューブダンパを採用することで応答遅れに対応するための減衰力アップを不要とし, 乗り心地も向上させた。

これらに加えて始めは柔らかく徐々にしっかりとふんばるプログレッシブ特性のバンプストップにより穏やかなロール特性を演出, またゲインを大きく取れるダンパ取り付けタイプのフロントスタビライザの採用などによってスムーズでしなやかな操縦性を実現した。

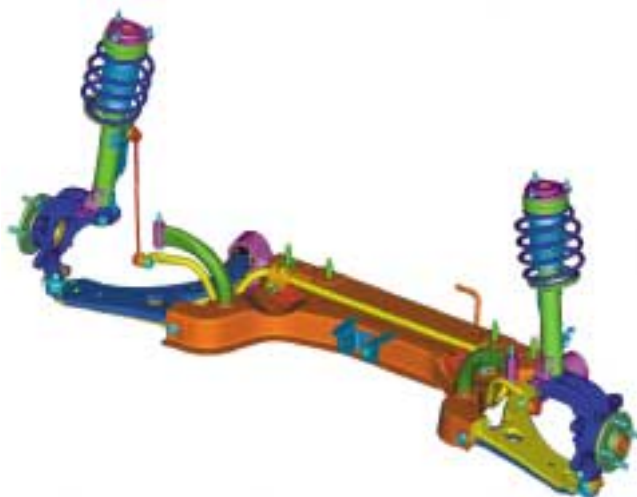


Fig.5 Front Suspension



Fig.6 Rear Suspension

ブッシュ類についても専用設計の大容量のものにすることで路面からの細かい入力 / 刺激に対する吸収性を向上させ, 走行安全性能と乗り心地を高いレベルで両立させた。

タイヤは先代デミオからインチアップした175 / 65R14と185 / 55R15を採用している。またスチールホイールは新設計の軽量で幅を6Jサイズとして走行安全性能に配慮したものである。

4.7 ブレーキ

フロントはベンチレーティッドディスク, リヤはドラムの形式である。フロントはロータ / キャリパサイズを14インチ用に上げ, リヤではブレーキのシュー幅を先代からアップしている。またブースタのサーボ比など作動特性の最適化とマスターキャリパのサイズアップを織り込んでいる。

これらによりペダルを踏む力に比例したブレーキ力を発揮しリアリティのよさとともに応答性のよさ, ブレーキ系の剛性感を実現した。

更にABSを全グレードに標準とし制御の最適化をはかってクラストップの制動距離を実現している。ABSのセンサはごく低速まで検出可能な半導体素子 (MR素子) を採用しており, 雪道での一般走行において車両が停止するまで安心できるブレーキングを可能にした。

またABSのデバイスを利用して車両の積載状態に応じて前後輪へのブレーキ力配分を最適に制御するEBD (電子式ブレーキ力配分システム) とブースタ内蔵の機械式BA (緊急ブレーキ時のアシスト機構) も標準装備しており, 上記のスペックを有効に活用できるようにしている。

4.8 エンジン

新開発の直列4気筒のアルミブロックエンジンを後方排気レイアウトで搭載した。メインベアリングキャップをロアブロック構造により一体化し振動低減と音質改善を実現, また吸気側S-VT¹, インテークマニフォールド長を大きく取った吸気系, 低通気抵抗エアクリーナなどで実用域の高トルクと高い最高出力を両立するベストインクラスのエンジンユニットである。

主に燃焼室の冷却性改善により圧縮比10.0をレギュラーガソリンで実現, エアクリーナとPCM²を一体化したIAFEM³を搭載, カムシャフトをチェーン駆動とすることで切損時干渉予防のためのピストン頂面のバルブリセスをなくし燃焼室形状を改善, スワールコントロールバルブで冷間時の燃焼を改善し燃料セッティングを改善, 樹脂製等長ロングインテークマニホルドなどさまざまな新技術を織り込んでいる。

排出ガスは超-低排出ガスレベルを達成している。

- 1 : Sequential Valve Timing
- 2 : Powertrain Control Module
- 3 : Integrated Air Flow Fuel Electronic Module

4.9 トランスミッション

4 EATは油圧スイッチ採用や、制御ロジック更新により従来に比べよりきびきびとしたシフト感を実現した。またSPORTではマニュアルモードをあわせ持つアクティブマチックを採用しシフトを操作する楽しさを実現した。

MTでは本体のシンクロ系の強化を実施、リンク式からケーブル式になることを契機に操作系のフリクション低減と剛性向上を図った。

4.10 安全性

アクティブセーフティとして、ブレーキの項目で述べた内容に加えDSC (Dynamic Stability Control System) をAT車へオプション設定可能とした。

パッシブセーフティとしては、まずトリプルH構造のMAGMAボデーを採用し、その上でオフセット衝突の場合の車室変形による乗員ダメージを回避するために、衝突荷重を強固な三ツ又アッパーロードパスで受け止めピラーとサイドシル、メンバに分散させる構造とした。またリヤフレーム構造についても最適化し後方から衝突された時に燃料タンクをまもりつつ高いエネルギー吸収を可能とした。側面衝突についてはセンターピラーとサイドシルの大型断面化およびクロスメンバの強化、メンバ追加、サイドインパクトバー配置/取り付け構造の見直しにより車体変形を抑制し車室内への侵入による乗員ダメージを低減した (Fig.7)

シートベルトは、衝突時にベルトを引き込みたるみをとって効果を高めるプリテンションを採用した。また、過大なベルト荷重による障害を回避するロードリミッタに、①しっかりと固定が必要な衝突初期は強く②その後はリミットを下げるデグレッシブ特性を付与したデュアルステージロードリミッタを採用した。

エアバッグはデュアルステージエアバッグシステムを採用した。これは車体前方のクラッシュゾーンセンサにより衝突の強度を検出し、それに応じてエアバッグの展開強度を強弱2段に使い分けるもので、エアバッグの作動による

傷害のリスク低減と衝突によるダメージの低減を両立させるものである。また側面衝突時の頭部および胸部の傷害を低減するカーテンエアバッグとサイドエアバッグをセットでオプション設定した。

これらシートベルトとエアバッグはひとつのコントロールユニットにより統合制御され、このシステムにより社内評価でクラストップレベルの運転席/助手席ともにJNCAP 5-Star (社内テスト結果) の性能を実現した。

そのほかにも安全装備として、衝突時にブレーキペダルの突き上げによって起こる脚部傷害を軽減するデカプラー機構や、ピラートリム類への衝撃緩和構造の織り込み、追突時に頭と背中を同時に支え、頸部に加わる衝撃を緩和する頸部衝撃緩和フロントシートを採用した。

また簡単で確実な固定を可能とするISO-FIXチャイルドシートに対応。更にチャイルドシートの上端部を車のシートに固定することで前方衝突時の移動量を減らし、前席シートバックとの衝突による傷害リスクを低減するトップテザーアンカを装備した。

4.11 オーディオ・ナビゲーションシステム

空調の操作部と一体化し、大型のスイッチやダイヤルをレイアウトしたホームオーディオのような親しみやすく操作性のいいセンターパネルとした (Fig.8)

専用チューニングによるオーディオ特性・受信性能の向上を実現し、最新の機能をマツダのモジュールオーディオシステムにより追加できる拡張性をもつ。また、運転中に安全に操作できるステアリング部スイッチをオプション設定した。

スピーカはマグネット/ボイスコイルを先代デミオからサイズアップした。新採用のドアモジュールにより取り付け面の開口を減らして再生音の低域を引き締め、自然で素直なオーディオ環境を実現した。オプションのドアミラガーニッシュ部トゥィーターつき6スピーカ仕様では更に音像定位と高域再生性能を向上させ生き生きとしたオーディオの楽しみを提供する。



Fig.7 Body Structure



Fig.8 Center Panel

ナビゲーションシステムにはDVDを採用し7インチの大型液晶ディスプレイを視線移動量が少なくてすむインストルメントパネル上の中央に配置した。操作はリモコンおよび運転席左下のインストルメントパネルスイッチのいずれかによる。音声認識による操作もオプションのテレマティクスつきの場合は可能である。バックモニタとのセットとしておりバックする時には自動的にディスプレイはバックモニタに切り替わる。

またナビゲーションディスプレイには自分で選んだ画像を壁紙として写真たてのように表示する機能をそなえ「自分の部屋のような居心地のよさ」をサポートしている。画像の入れ替えはスマートメディア経由でデジカメなどによるJPEGフォーマットの画像を読み込ませることで行う。

5 . おわりに

以上、開発の狙いと商品概要について簡単に紹介した。詳細な内容については本稿に続く各専門分野の項を参照いただければ幸いである。

新型デミオではマツダDNAを織り込み、小型車クラスにこれまでなかったダイナミック性能と安全性能の高さを実現するという目標を達成したと考えている。またデミオの良さである機能性/パッケージングのよさを継承しより洗練し使い勝手を高めて実現した。

競合車のひしめく、コンパクトワゴンという重要なカテゴリーの中で、マツダの存在感をアピールできる商品に仕上がったと考える。

著 者



藤原清志



平嶋秀一

特集：新型デミオ

17

新型デミオのデザイン Design of New DEMIO

中牟田 泰*1
Yasushi Nakamuta

要 約

初代デミオの精神を受け継ぎ、新たなコンパクトカーの定義を作ること、そしてマツダブランドのDNAを最大限に表現することを目標に開発したのが新型デミオである。

デザイン開発においても、初代デミオの持つ機能性やパッケージの良さを継承し更に進化させながらも、新しいマツダブランドを表現したカスタマーの五感に訴えるエモーショナルなスタイリングを実現することを基本コンセプトとした。心地よい空間設計と高品質でクリーンなインテリアデザインの追求や、カスタマーの自己表現の喜びをサポートする、素材/カラーの新しい表現を追求し、幅広いカスタマーの共感を得られる次世代のコンパクトカーの新しい価値を提供することを目指した。

Summary

New Demio has been developed for the purpose of inheriting the soul of the first Demio and clarifying the definition of a new compact car, and expressing DNA of the Mazda Motor brand to the maximum extent.

A basic concept in design development was to realize the emotional style appealing to five senses of the customer, which has expressed the new Mazda Motor brand while inheriting and evolving high functionality and good packaging of the first Demio. This new Demio offers a new value of a next-generation compact car which can obtain sympathy of a wide spectrum of customers because clean interior design with a pleasant space design and satisfactory high quality as well as a new expression of the material/color which supports joy of a customer's self-expression has been pursued.

1. はじめに

初代デミオは優れたユーティリティスペースを素直なデザインで表現することにより、経済性のみが問われていた既存のコンパクトカーに新たなベンチマークを創造した。

その新しい価値が競合各車の追従によりスタンダード化された今、新型デミオは更なるコンパクトカーの新しい定義を創り出すことを狙いとし、デザイン開発においても初代デミオの強みであったパッケージをさらに強化させ、次世代のコンパクトカーに求められているカスタマーの感性に訴える新たな価値観や機能性をデザインで表現することに挑戦した。

2. デザインの狙い

2.1 ブランドDNA表現

一目でマツダとわかるブランドDNAをスタイリングに表現するため、カスタマーの五感に訴える躍動感のあるエモーショナルなエクステリアデザインと上質でスタイリッシュなインテリアデザインを目指した。

2.2 カスタマーの感性に訴える新たなデザイン表現

幅広いカスタマーの多様な好みや個性に応えるため、女性をはじめとして多くのカーユーザの志向やライフスタイルをさまざまな視点から調査し、オーナーのセンスや生活の質を反映させた趣味性のサポートができるように、自己表現の喜びを与えるエクステリア及びインテリアのカラー

*1 アドバンスデザインスタジオ
Advance Design Studio

リングや素材、テイストなどを特化させた感性的なデザイン表現を狙った。

3. エクステリアデザイン

エクステリアデザインの狙いは、一目でマツダ車と分かるデザインDNAを持ち、シンプルにデザインされた機能の表現と、デミオの特徴的な塊感の表現を兼ね備えたエモーションナルでモダンなスタイリングを目指した (Fig.1)。



Fig.1 Final Rendering

3.1 フロント・サイドビュー

シャープにスラントしたヘッドライトと5ポイントグリルによりマツダブランドのファミリーフェイスを表現し、グリルの両サイドからボンネット、そしてAピラーへと伸びる明快なキャララインによりスポーティで躍動感のあるフロントデザインとした。

サイドビューはデミオの優れた後部のユーティリティスペースを確保しながらもボンネットからショルダーラインにかけてダイナミックな動きを表現し、塊感のあるショルダー形状や力強いホイールアーチの張り出しにより、アスレチックで躍動感のあるスタイリングを実現した (Fig.2)。



Fig.2 Front Side View

3.2 リヤビュー

リヤビューでは、機能性の良い低い位置から開くテールゲートとしながらもワイドトレッドと力強く張り出したリヤフェンダにより路面をしっかりとらえるダイナミックな構えを表現し、また水平基調のリヤコンピランプによりスポーティで個性的なリヤデザインとした (Fig.3)。



Fig.3 Rear View

3.3 エアロダイナミクス

広く使いやすい、優れたパッケージングを実現しながら、高速走行時の燃費向上や静粛性などに貢献する空力特性を確保するため、断面形状に丸みを持たせたAピラー、ポデー前部コーナ部の張り、ボンネット先端とルーフ先端の位置関係の最適化、ルーフ後端の角度とリヤサイドの絞込みなどのデザイン処理によりCD=0.32というクラストップレベルの空力性能を実現した (Fig.4)。

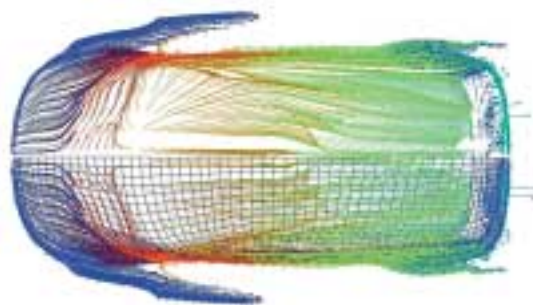


Fig.4 Aero Dynamics

4. インテリアデザイン

インテリアデザインの狙いは、自分の部屋のように心地よく過ごせるクリーンでシンプルな空間構成と、乗る人をわくわくさせる個性的でスタイリッシュな、ひとクラス上の品質感を持ったデザインを目指した (Fig.5)。



Fig.5 Interior Theme Sketch

インストルメントパネルは心地よい開放感を与えるよう水平基調の低くフラットな造形とし、上面をダークブルーにすることにより明るいインテリアを引き締めるとともにその表面処理にディンプル加工を採用し、スポーティで精密なイメージを表現した (Fig.6)。

メータパネルは、大きなスピードメータとタコメータをシンプルなデザインで構成することにより、走行中の読み取りやすさを目指した。

ベンチレーショングリル、空調コントロールダイヤル式スイッチ、メータなどに丸型のデザインモチーフを使うことによりスポーティなマツダブランドのDNAを表現した。

センターパネルはモジュールオーディオの利点を生かしフラッシュサーフェイス化したモダンなホームオーディオをイメージさせる精緻な印象のメタル調のデザインとした (Fig.7)。洗練されたシンプルなパーツデザインに新しい素材、カラーそしてテクスチャを採用することによりハイセンスでひとクラス上の高い品質感を実現した。

また、デミオの優れた機能性である使い勝手の良いシートアレンジや荷室スペースも進化させ、フロントシートには角度調整式の大型のアームレストを設け、運転時の心地よさを追求した。荷室スペースのトリムデザインはタイヤハウスの張り出しを無くしシンプルでクリーンなデザインとした (Fig.8)。



Fig.6 Instrument Panel



Fig.7 Center Panel



Fig.8 Front Seat

5. カラーデザイン

カスタマーの生活へのこだわりが多様化する中、自分のライフスタイルやセンスに合わせた車選びができるよう、また自己表現の喜びを感じてもらうため、新型デミオでは従来型の上級、下級というグレード展開ではないターゲットユーザの趣味、志向に合わせた個性が明快な3つのグレード展開「3 cars from 1」コンセプトを導入した。

エクステリア、インテリアカラーデザイン開発においても、そのコンセプトに沿ったカスタマーの自己表現の喜びをサポートするカラーリングや素材、テクスチャを企画初期段階からプランナーとともに調査、分析し、3つのコンセプトに合わせた内外装のベストカラーコーディネーションを実現した。

5.1 Casual (カジュアル)

シンプルで自然体なライフスタイルを好むカスタマーをターゲットとした、使う楽しさを訴求するモデル。

ポデーカラーは若々しさと機能的をキーワードにスプラッシュグリーンをテーマカラーとした全7色を設定した。

インテリアは心地よい雰囲気のある明るいグレーを基調とし、シンプルな機能美を際立たせ、インパネやドアトリムにあしらったダークブルーのアクセントカラーによりシンプルでアクティブな個性を演出した (Fig.9)。



Fig.9 Casual

5.2 SPORT (スポーツ)

自由で行動的なライフスタイルを求めるカスタマーをターゲットとした、ドライビングの楽しさを訴求するモデル。

エクステリアは精悍なエアロパーツやディスチャージヘッドライト、15インチアルミホイールを専用装備としスポーティでアクティブなイメージを持たせ、ポデーカラーはスパイシーオレンジマイカをテーマカラーとした全6色を設定した。

インテリアはダークブルーとメタル調テクスチャを基本としたスポーティでクールなイメージを演出、よりスポーティなドライビングプレジャーを感じる空間とした。

シートはヤングカスタマーに流行のハイテクスーパーカーを研究し、エンボス加工の新素材ニットを開発しシートセンターのアクセントとした。

ドアトリムにはシルバーメタル調のスイッチベゼル、イ

ンナーハンドルや、メッシュ素材のダークブルーファブリックのサイドガーニッシュを使用することで、クールでモダンなテイストを際立たせた (Fig.10)。



Fig.10 SPORT

5.3 Cozy (コージー)

リラックスして心地よいライフスタイルを求める女性カスタマーをメインターゲットとした心地よくなごめるインテリアを訴求するモデル。

自分の部屋のようにくつろげる空間、そして自己のセンスを演出できるインテリアとするためファッションブルで明るいコーンページュのトリムカラーを基調とした。

インストルメントパネルは、上部がダークブルー、下部がコーンページュのツートンカラーで上質感を表現した。

シートはベロアとスエード調素材を組み合わせることで、1970年代のファッションにヒントを得たチェーンリンク模様をあしらひ、温かみとくつろぎ感を演出した。

ポデーカラーは上品で温かみのあるハニーイエローをテーマカラーとした8色を設定、さらにポデーカラーとカラーコーディネートしたミモザイエロー、ミントグリーン、ローズピンク3色のシートセンター布、ドアトリムガーニッシュ、カップホルダの設定により、個性的でスタイリッシュなイメージとし、自分の部屋の家具や雑貨を選択するような楽しさを実現した。

また、このコージーには光を透過する新素材を使用した大開口のホワイトキャンバストップを設定することにより、閉めた状態でもオープンカフェにいるような柔らかな光をうける心地よいインテリア空間を創ることができた (Fig.11)。



Fig.11 Cozy

6 . おわりに

以上が、新型デミオのデザイン開発についての概要である。

現在、このスモールカーセグメントには多種多様な個性を特化させたデザインの競合車が市場に投入されているが、新型デミオのデザインはお客様が見るたび、触るたび、そして走るたびに心地よく元気になれるものと確信している。

最後にデザイン開発に際しご協力頂いた関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。

著 者



中牟田泰

特集：新型デミオ

18

新型デミオのパッケージング Package of New DEMIO

伊藤 晃^{*1} 中崎 浩二^{*2} 梅木 哲哉^{*3}
Akira Ito Kouji Nakasaki Tetsuya Umeki
古藤 政幸^{*4} 岩本 良幸^{*5} 池田 利文^{*6}
Masayuki Koto Yoshiyuki Iwamoto Toshifumi Ikeda

要約

先代デミオは、大人4人がしっかりと座れ、立体駐車場に入り、後席をたためばマウンテンバイクが2台載せられるユーティリティの高さで高い評価を得た。

新型デミオは開発に際し、先代の好評点をさらに進化させてマツダブランドDNAの“抜群の機能性”の実現とともに、“心地よい室内空間”の実現を目指した。

これを実現するために、“広々した室内空間”、“体格差に配慮した運転姿勢”、“簡単操作で自由にアレンジできるシート”、“綺麗に、使いやすい小物入れや荷室”を開発の注力点とした。本稿では、それらの具体策を紹介するとともに、それらを実現する上で重要であったインストルメントパネル（以下インパネ）、シート、オーディオ&ナビゲーションの紹介をする。

Summary

The first Demio achieved high customer evaluation in its roomy seating space for four adults and great packaging utility to enable two mountain bikes to be loaded by folding rear seats backward, and a compact body size that is convenient for Japanese tower parking systems.

Inheriting and further improving the advantages of the first model, we aimed to materialize “Spacious Interior” and one of the Mazda brand DNAs of “Exceptional functionality” in the development of the new Demio.

Particular focuses have been placed on the following four features: “Outside looks small, but inside is roomy”, “Ideal driving position for any physique”, “Easy and flexible seat arrangement”, and “Small article and cargo room convenience”. This paper introduces concrete measures including key technologies such as instrument panel, seat, and audio & navigation.

1. はじめに

先代デミオは、セカンドカーの位置付けが強かったBカー市場で、大人4人がしっかり乗れ、荷物も積める、ファーストカーとしての機能を持ち合わせた車として好評を得た。新型デミオは先代デミオのこの特徴を継承した上で新たなBカー基準となることを狙いとして、機能性の更なる向上と、新しい魅力を織り込むことを目指して開発した。

2. パッケージの狙い

先代デミオは、立体駐車場に入るコンパクトなボデーサイズと、マウンテンバイクが2台積めるスペースユーティリティの高さが高く評価された。

新型デミオでは、これら先代デミオの良さを継承した上で、近年顧客のニーズが高い、“心地よさ”を新しい魅力として具体化することを目指した。“気持ちよく、簡単に、

* 1 コンセプト・プラットフォーム基本設計部
Concept/Pre-Program Platform & Program Engineering Dept.
* 3 ~ 5 装備開発部
Interior Components Development Dept.

* 2 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.
* 6 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

綺麗に使える空間”，によって得られる心地よさを追求した空間設計を行った。

2.1 先代デミオの特徴の継承・進化

Bカーは、他のクラスの車に対しエンリューザや女性比率が高いため、日常での使い勝手への要求が高い。

その要求に応えるため、取り回し性（ボデーサイズ、視界、立体駐車場要件）や乗降性をしっかり押えた。

一方で先代デミオの前後席の広さや、荷室の広さとシートアレンジはBカークラスでトップレベルにあり、これを継承・進化させた。

2.2 新たな魅力の構築

Bカーとしての新しい価値，“心地よさ”を具体化するために，“広々した室内空間”，“体格差に配慮した運転姿勢”，“簡単操作で自由にアレンジできるシート”，“綺麗に、使いやすい小物入れや荷室”の実現に取り組んだ。更にそれらを際立たせるために次のアイテムを採用した。

- ① パーソナルなテーブル風のインパネ
- ② ホームオーディオをイメージした、センターパネルモジュールオーディオ
- ③ 乗り心地がよく、サポート性に優れたシート
- ④ クラフトマンシップの視点での高い品質の造り込み
- ⑤ 柔らかな光に包まれる心地よい室内空間を演出する、光を通すホワイトキャンバストップ

3. 外観諸元

室内空間の拡大、運動性能・安全性能を向上させ、更に取り回し性と立体駐車場への配慮から、先代デミオからのサイズの拡大を最小限に抑えた。

3.1 全高

全高は先代デミオと同様に、立体駐車場に駐車可能な1,550mm以下に抑え、ノーマルルーフ車で1,530mm、キャンバストップ車で1,545mmとした（Table 1）。

3.2 ホイールベースとトレッドの最適化

運動性能向上、室内寸法を拡大するために、ホイールベースの延長とトレッドの拡大をした。取り回し性に配慮し、最小回転半径は4.9mに抑えた（Table 1）。

4. 室内寸法

大人4人がしっかりと乗れる室内寸法を確保した上で、広々感や使い勝手に配慮した空間設計をした。

4.1 前席の広々感の実現

前席の広々感は、広々感のベンチマークにより、①室内幅、②運転席と助手席とのシート間距離、③インパネの造形、が重要であるとわかった。

そこで新型デミオでは、シート間寸法と、シートとドアトリムとの寸法を拡大し、広々感を実現した（Table 2）。

また、インパネ形状も、上面をすっきりしたパーソナルなテーブル状とし、かつ手前のエッジラインをすっきり通

Table 1 Exterior Dimensions

	New Demio	First Demio
Overall Length	3925	3800
Overall Width	1680	1670
Overall Height	1530 1545(C/T)	1500
Wheel Base	2490	2390
Fr.Tread	1475	1420
Rr.Tread	1450	1420
Min. turning radius(m)	4.9	4.7
Tire Size	175/65R14 185/55R15	165/70R13 175/60R14

Table 2 Interior Dimensions

	New Demio	First Demio	A	B	C
Fr.Shoulderroom	1358	1313	1336	1340	1334
Fr.HP Width	335	316.5	334	330	315
Fr.HP to Shoulder Width	344	340	334	340	352
Rr.Shoulderroom	1348	1308	1332	1283	1282
Fr.Headroom	1035	1022	1040	1032	1038
Rr.Headroom	980	980	979	948	936

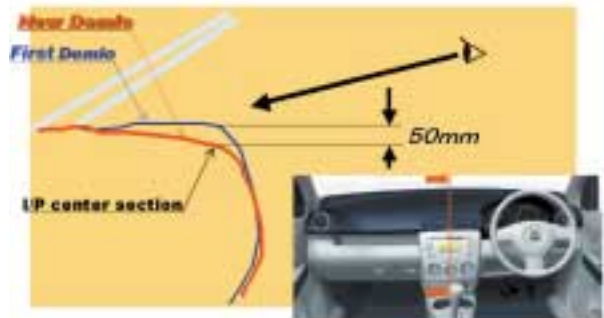
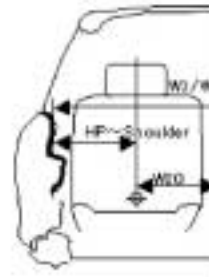


Fig.1 Comparison of Instrument Panel Height

した。その上で、インパネ上面を先代デミオより50mm上げることで、広々感と心地よさを両立した（Fig.1）。

4.2 後席の広々感実現

後席の広々感には、前席と同じ室内幅に加え、前方の見晴しが重要である。そこで、前席同様に室内幅を拡大した。更に、前席に対しヒップポイントを60mm高くするとともに、前席のシートバック高を低く抑えることで、前方見下ろし方向の広々感を拡大した。

後席の空間は、前席に185cmの人が乗車しても、175cmの人が乗車できるように、レッグルームを確保した（Table 3）。

Table 3 Rear Legroom

(Comparison condition : When the AM50 size person gets on the front seat)

	New Demio	First Demio	A	B	C
Leg Room	996	952	871	947	873
Knee Clearance-2nd	56	- 10	59	25	- 26

Table 4 Rr.door Opening Size

	New Demio	First Demio	A	B	C
Rr.Door Opening Length (HP Height)	592	563	569	572	529
Rr.Door Opening Length (Upper 50mm at sidesill)	451	465	412	373	334

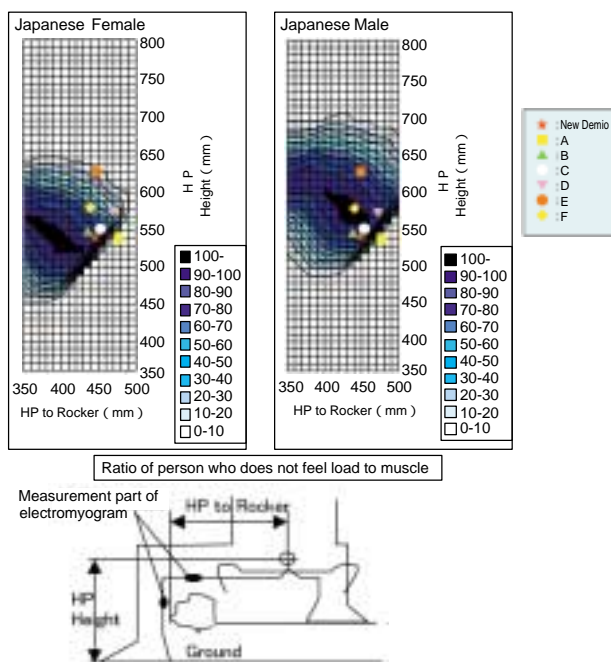
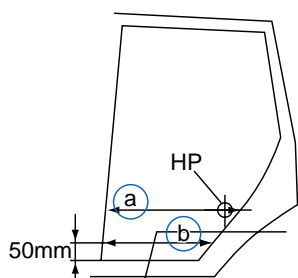


Fig.2 Measuring of Electromyogram at Ingress/Egress

4.3 乗降性への配慮

後席は、チャイルドシートの装着性や子供の乗せやすさに配慮し、ドア全開でのドアの張り出し量を先代デミオとほぼ同等としながら、80°開くようにした。また、乗降時に腰が通る位置の寸法を拡大した (Table 4)。

前席についても特に女性の乗降性に配慮し、筋電位計測等を使って、シートの高さを最適化した (Fig.2)。

ルーフレールの高さも33mm上げ、頭の出し入れもやすくした。

5. 運転姿勢

新型デミオでは、150cmの小柄な人から190cmの大柄な人までが、体格差を問わず快適な運転姿勢をとれることを狙った。

まず、基本的なドライビングポジションの最適化を行い、更に、体型の違いに対してドライビングポジションの調整範囲が大きくとれるようにした。

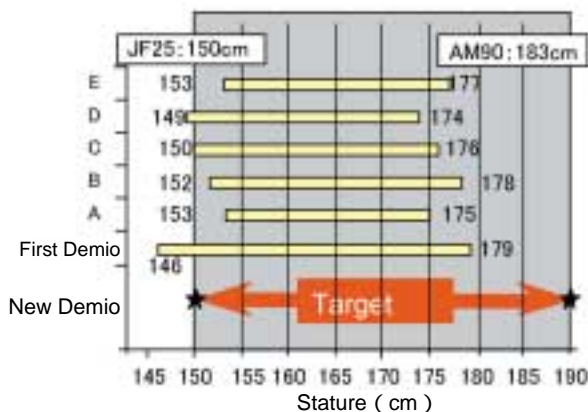


Fig.3 Cover Range for Figure

5.1 ドライビングポジションの最適化

まず、ドライビングポジションテストを使って、標準的体型のパネラーによる評価を行い、シート、ペダル、ステアリングホイール、チェンジレバー、パーキングブレーキ配置の最適化を行った。

5.2 ポジション調整範囲の拡大

ドライビングポジションテストを使って身長異なるパネラーによる評価を行い、それぞれの体格に合ったドライビングポジションが設定できるように調整範囲を設定した。250mmのシートスライド及び、55mmのシートリフト、45mmのステアリングチルト量を確認した。

シートリフタは、シートクッション&バック一体リフタを採用し、リフト時の上体のずれをなくすことで、座り心地や操作性を向上させた。また、斜め前方にリフトアップするリフタとすることで、小柄な人への保証量を実質的に確保した。

このスライドとリフタを組み合わせることで、スライド後端位置を先代デミオより76mm後方にセットでき、保証身長を11cm拡大できた (Fig.3)。

リフタレバーはラチェットタイプとし、軽い操作力で調整できるようにした。

6. 荷室&小物入れ

6.1 荷室

荷室は、8章で述べるシートアレンジの容易さも加わり、荷役性及び収納性を更に向上させた。

開発においては、荷室への感度が高い欧州市場で、モックアップモデルを使用したユーザクリニックを実施し、荷室形状に対する顧客のニーズを明確にした。その結果、荷物の積みやすさには、荷室開口の広さや、フロアと荷室開口部の段差がないことが重要であることがわかった。

そこでまず、開口部とフロアとの段差が少ない“掃出し構造”を採用することにした。更に、女性の使いやすさに配慮して開口部地上高は、先代デミオに対して51mm低くし、516mmとした。これは小柄な女性の場合、標準的男性に比べて荷物を持ち上げた時の荷物の下面高さが約

100mm低くなることへの配慮から決定した。

地上から荷室開口までの高さを低くしたことで、立体駐車場に入る全高でありながらクラストップの広い荷室開口長を実現した (Fig.4)

これらの構造を採用すると、通常は車体剛性が低下するが、開口コーナ部の効率的補強や、タイヤハウスとキャビンの後方をつなぐジャンクションを設定することで車体剛性を確保した (Fig.5)

更に、荷室を上下に分けて使うことができる“フレキシブルボード (以下、ボード)” (オプション) を採用することでお客様が自由に使える、使い勝手を実現した。

ボードの下にはAタイプのベビーカーや26Lクラスのクーラーボックスが積載できるように、ボード下の高さを368mmとした。またシートバックの上端に対して165mm低い位置に設置しているので、ボードの上にはバッグや洋服、ゴルフバッグ1個等を積載できる。ボードを半分にたためば、20Lの灯油タンクも2個積載できる (Fig.6)

ボードを半分に折りたたむことで、ボード下の荷物は、車外からだけでなく、後席からでも容易に取り出せる。

また、高さのある荷物を積載する時はボードを荷室床面に置くことで、積載の邪魔にならないようにした。

ボードの固定は、トランクサイドトリムに設定したスライドバーにより行う。このバーにはフックが取り付けられており、ショッピングバッグ等の固定に使える。

先代デミオの特徴であった、MTBを2台積載するために、リヤシートをダブルフォールディングした時の荷室長を1,262mm確保した。また幅方向は、67サイズのスーツケースが4個横並びで積載できるように、ホイールハウストリム間幅を980mmとした。

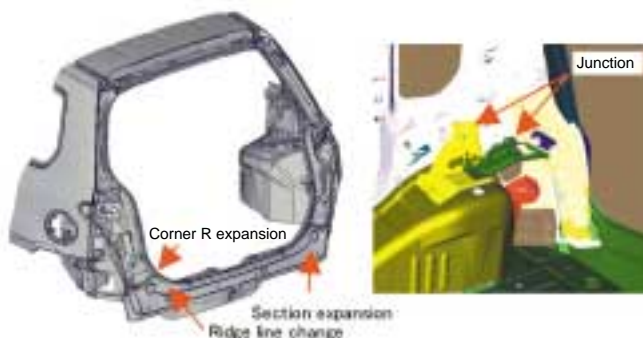


Fig.5 Opening Reinforcement



Fig.6 Luggage Loading

	New Demio	First Demio	A	B	C
Rr.end height from G.L.	516	567	616	664	637
Rr.end height from floor	17	140	150	210	198
Opening length	951	842	773	712	930

Height of luggage when luggage is lifted

	AF05 150cm	AM50 174cm
Orange box (290 x 380 x 265H)	488	602
Kerosene tank 20L (350 x 200 x 405H)	288	402

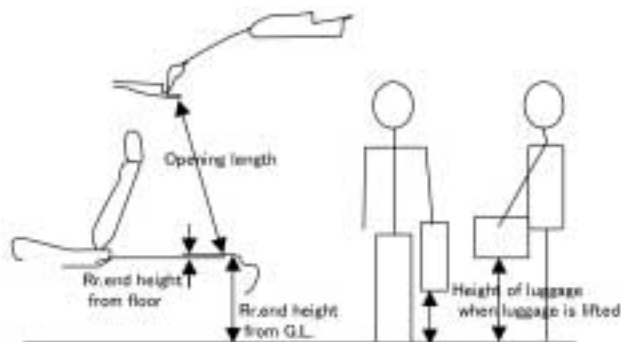


Fig.4 Cargo Opening

6.2 室内小物入れ&装備

このセグメントで求められる小物入れや室内装備への要求を社内外のユーザから集めた結果、一時的に物を置いたり、化粧した後のティッシュを入れるゴミ箱や、CD・カセットが多く収納できる物入れがあると便利といった意見が大半を占めた。また室内装備では、特に女性の使いやすさの視点で、運転席及び助手席のどちらに着座しても、更に夜間でも使いやすいパニティミラーへのニーズが高かった。

これらの情報と先代デミオからの更なる改善を狙い、フロント席を中心に豊富な物入れを設定した。

具体的には次の11項目 (Fig.7)

- ① マルチグローブボックス (クリーンボックス付)
- ② インパネサイドトレイ
- ③ ドライバースアンダートレイ
- ④ ドライバースポケット
- ⑤ ドライバースボックス (ETC設定時なし)
- ⑥ リッド付アッパートレイ (Navi設定時なし)
- ⑦ フロントカップホルダ
- ⑧ フロントドアポケット
- ⑨ サンバイザーチケットホルダ
- ⑩ 助手席シートバックポケット
- ⑪ リヤドアポケット

以上の小物入れの中で、代表的な物入れについて説明する。

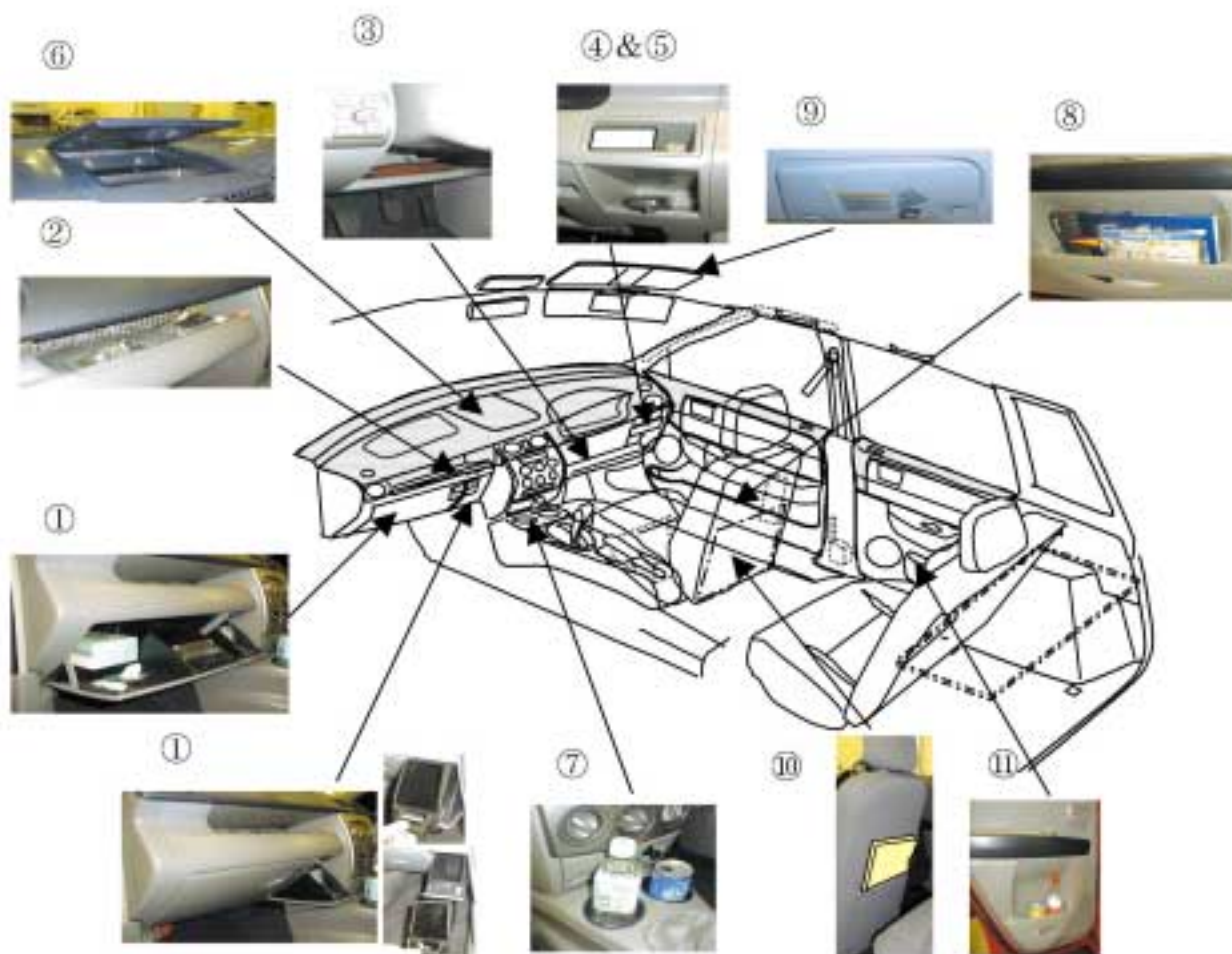


Fig.7 Plan of Storage Box

①のマルチグローブボックスは、大幅に容量を拡大した。単に大きいだけではなく、機能性に優れ、更に使い勝手を工夫した。例えば車検証は、ボックス内の上段に設けた仕切りの上に、整然と収納できる。その下のボックスには、ティッシュボックス或いは、CDケースで7枚、カセットケースでは21枚が入る大容量を確保した。リッドの内側面には、ポケットティッシュ入れとCDが4枚入るボックスを設定した。

グローブボックス横には、クリーンボックスを設定した。これは、ワンタッチで取り外せる二重構造のボックスとなっており、汚れたら水洗いが可能なのでゴミ箱としても使用できる。

②のインパネサイドトレイは、先代デミオで設定していたボックスをさらに使いやすくするため、仕切りを付けたトレイとし、腕時計やアクセサリ等を置けるようにした。

⑦のフロントカップホルダは、テトラパック、180～350ml缶、500mlペットボトル、ファーストフードのS～Lカップを収納できるサイズとした。これら飲み物を置かない時は、携帯電話等も置くことができる。

⑩のリヤドアポケットには、後席乗員用のペットボトルホルダを両側に設定した。ペットボトルホルダの後方のポケットには小物類が入れられ、後席乗員の利便性を向上させた。

7. インストルメントパネル

新型デミオのインパネは、「自分の部屋」のイメージを具体化し、更に広々感を実現することを狙いとした。そのために、インパネ上面を可能な限り低く抑え横基調を重視するため、テーブル調のフラットな造形にし、ルーバー等も目立たないスッキリ感を目指した。

実現のために、近年注目されているModule構造（ヨーロッパで一般的）をインパネに採用した。またクラフトマンシップ開発を取り入れることで、更に質感の高いインパネを実現させた。

7.1 デザインコンセプト実現の施策

新型デミオは先代デミオからインパネ上面高さを約50mm低く抑えた造形とし、その実現に向け、インパネ中央部の物入れスペース確保や空調ダクトのレイアウトを工

夫した。

そして、それらを実現するために、インパネModuleの構造を採用した。

7.2 インパネModule

(1) インパネModuleの狙い

インパネModuleとは、コクピットを形成するインパネ本体・インパネメンバ・空調ダクト・空調ユニット・オーディオ・メータ・インパネハーネス・ステアリングシャフト・ステアリングホイール等の主要部品をサブアッセンブリし、車両にModuleとして一括搭載する構造である。

機能を統合させ、無駄な部品を省き、同じ機能の商品を低コストで作り上げ、より付加価値の高い商品を顧客に提供することが狙いである。

(2) 新型デミオのインパネModuleの特徴

1)空調ダクト

従来の空調ダクトは、デフロスタ系とブースト系のダクトをそれぞれインパネ本体にビス固定や、インパネ表面の結露防止ウレタンを介してインジェクション成形ダクトを振動溶着で締結している。

新型デミオでは、両方の空調ダクトを一体ブロー成形で製作し、インパネ本体に振動溶着する構造を採用した。これにより、組み付けスペースが不要となり、インパネ上面高さを低く抑えることができた (Fig.8)。

2)インパネメンバ

インパネメンバは、インパネModule内の各部品を支持し、更にボデーとの締結構造が、衝突安全性能やステアリング振動性能に大きく影響を与える部位である。

新型デミオのインパネメンバは、運転席側に 75のパイプを採用し、運転席側側壁を4点・トンネル部を2点・空調ユニット下端部を2点でボデーと締結することで、上記の性能を達成した。ステアリング振動性能の内、アイドル振動レベルは競合車トップレベルである (Fig.9)。

3)クラフトマンシップ開発

次の点に注力し、クラフトマンシップ開発を徹底的に行った。

① 使い勝手の良い小物入れの実現

新型デミオは、開発初期から顧客である女性の意見を取り入れ、アッパートレイのアクセサリ入れや、マルチグローブボックスを工夫したティッシュボックス格納構造、そしてクリーンボックスを採用した。

② 自分の部屋のイメージを作り出す演出

従来車のルーバは風向きを変える板 (フィン) が閉まらない構造が多い。

新型デミオでは空調を使用しない時にはフィンが完全に閉まる構造を採用した。これによりスッキリしたデザイン造形となり、質感も向上した (Fig.10)。

③ 見ための品質感

お客様は五感により品質を感じる。新型デミオのインパネは、その中でも特に見て感じる領域に注力して開発した。

インパネModuleは各部品の集合体であり、部品と部品の合わせ部位は必ずどこかに発生するので、その部位の見映えを良くするデザイン造形と、合わせの隙間や段差の縮小を行った。

前者では、助手席エアバックリッドを大型にし、インパネ上面のテーブルの中にすっぽりと埋まり込んだデザイン造形処理を行うことで、一体風のデザインとした。

後者では、インパネ本体とメータフード・センターパネル・サイドパネルの合わせの隙間・段差を、部品の製作工程能力を考慮し隙間・段差のノミナル値を決定し、造り込んだ (Fig.11)。

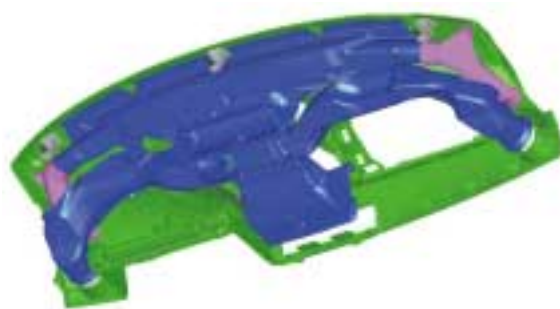


Fig.8 Duct of Air-conditioning

	FREQUENCY(Hz)		● Vertical (1st mode)			■ Lateral (2nd mode)	
	24	30	32	34	36	38	
First Demio		31.2 ●		33.4 ■			
New Demio			32.3 ●		35.3 ■		
Competitor A		31.5 ■		32.9 ●			
Competitor B	24.5 ■			32.4 ●			
Competitor C		31.6 ●				39.0 ■	
Competitor D		31.6 ●			34.6 ■		

Fig.9 Resonance Frequency at Idling



Fig.10 Louver



Fig.11 A/B Lid & Meter Hood

8 . シート

シートは、常に接しているユーザに快適性を提供するとともに、新型デミオのパッケージングテーマの一つである「心地よい空間」を実現する上で、非常に重要な役割を担っている。

8.1 フロントシート

フロントシートは、大型アームレストやフルフラットといったシートアレンジ機能を持たせながら、シートの基本性能を向上させた。

シートバックは、人間の背型形状に沿った断面形状とパネレイアウトを行うことにより、骨盤上部をしっかり支持し、体圧を効果的に分散させた。また、サイド部の形状最適化とウレタンフォームを座面部に対して硬くすることで、ホールド性も向上させた (Fig.12)。

シートクッションは、ヒップポイント付近の座角を緩やかにし、圧力値を下げ縦断面支持を向上させた。更に、ウレタンフォームを高密度化し、フィット感と振動減衰性を向上させた (Fig.13)。

8.2 リヤシート

リヤシートバックは、着座センターの形状を最適化し、サイド部の形状を盛り上げることによりフィット性を向上させた。リヤシートクッションは、ウレタンフォームを厚くし、サイド部の立ち上がり曲率をはじめとする形状の最適化を図った。また、バック、クッションとも高密度のウレタンフォームを採用し、ソフト感向上と振動伝達を抑えつつ上げるリヤシートを実現した (Fig.14)。

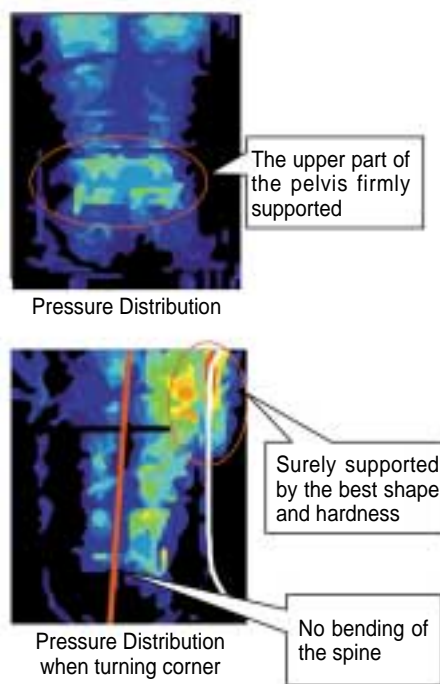
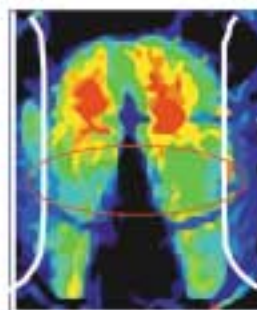
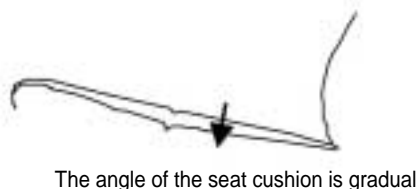


Fig.12 Seat Back



Pressure Distribution

Fig.13 Seat Cushion

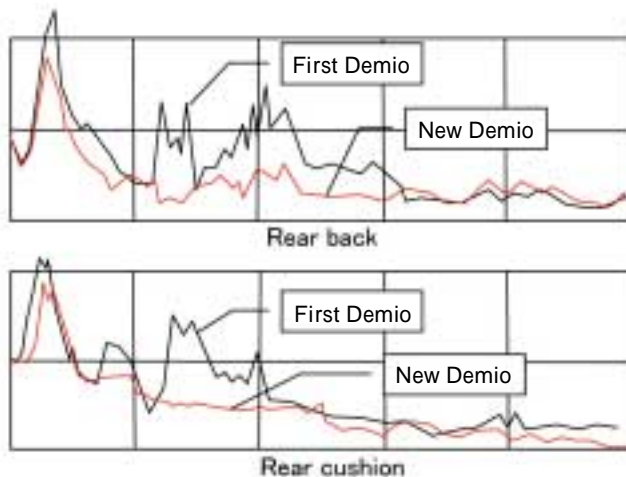


Fig.14 Vibration Transmission Characteristic of Rr.seat

8.3 シートアレンジ操作性改善

先代デミオのシートアレンジの豊富さは、このクラスでは際立っていた。リヤシートスライド、リヤシートフルリクライニング、前後席フルフラットは、デミオの特徴的なアレンジとして好評であった。新型デミオでは、この豊富なシートアレンジを踏襲した上で、シートアレンジのしやすさを向上させた。

(1) フロントシートアレンジメント

スライドレバーは、どこからでも手がアクセスしやすいループタイプを採用した。シートリフタは、上下操作で簡単に無段階調整できるラチェットレバータイプを採用した。アームレストはラチェット機構を内蔵し、解除ボタンを操作することなく、8段階の角度調節を可能とした。

(2) リヤシートアレンジメント

スライドレバーは、フロントシートと同様にループタイプを採用し、ロック部とケーブルで連結させることで、リヤシートの中央にレイアウトした。これにより、左右乗員のみならず、前席乗員からもアクセス可能とした。リクライニングの操作はレバータイプとし、シートバック回転センターにヘルパースプリングを設定することで、着座状態で上体をシートバックに預けながら調整可能とした。サイドショルダクッションは、リヤシートの位置に関係なく、リヤドアを開けることなく外せるよう脱着を上下スライド方式に改善した。また、外したあと左右のサイドショルダクッションを合せることで、フルフラット時の枕等として使用可能とした。

ダブルフォールディングの操作は、先代デミオでは、ダブルフォールディングを完成させるまでに、リヤドア側から7回、リフトゲート側から6回の計13回の操作が必要であった。新型デミオでは、リヤドア側、リフトゲート側どちらか一方で、5回の操作で可能にした。また、シートバックは、リフトゲート側からも倒すことができるように、リヤシートの後側サイド部にレバーを設定した。回転中心にスプリングを設定することで、レバーを操作するとシートバックが自動的に前方に倒れる構造とした。併せてリヤヘッドレストを外すことなく、ダブルフォールディングできるよう回転中心位置の最適化を図った。クッション側ロックの解除レバーは、シート後側センター部に設定し、レバーと左右のロックをケーブルで連結することで、左右同時にロック解除できるよう改善した。女性ユーザの使用に考慮して、ダブルフォールディングの回転センターに渦巻状のヘルパースプリングを設定し、シートを持ち上げる際の操作力を小さくした。中央席のシートベルト、外側席用シートベルトバックルをシートクッションフレームにビルトインさせ、ダブルフォールディングする場合の操作性を改善するとともに、スライド位置にかかわらずシートベルトのフィット性を高めた (Fig.15)。



Fig.15 Seat & Rr.seat Double Folding

9. オーディオ&ナビゲーション

オーディオ&ナビゲーションは、自分の部屋にいるような“心地よさ”をテーマに開発を行った。オーディオは、エアコン操作スイッチなどとともに1枚のパネルに集約しホームオーディオをイメージしたデザインとした。

また、ナビゲーションはクラス最大の7インチディスプレイをインパネ上面に「写真立て」をイメージさせるデザインで配置した。

9.1 オーディオ

マツダの従来車種と同じように、オーディオスペースに上下にメディアを選択できるスロットイン構造とした。具体的には、上スロットに「CDキット」(標準装備)または「CDチェンジャーキット」、下スロットに「カセットキット」または「MDキット」(MDLP対応)が選択可能な構造である。また音楽市場の多様化に対応し、急速に浸透している“MP3フォーマット”に対応した「MP3対応CDキット」を新たに開発した。

音作りに関しては、「心地よく素直で聞き疲れしない音」を目指して大きく3点に注力して開発を行った。①パワーアンプを、最大出力で40W、10%歪み状態で25WのICを採用し余裕ある出力を確保した。②スピーカのマグネットとボイスコイルを従来比約20%大きくすることで、よりレスポンスの良い引締まった音とした。③スピーカの取付け部位であるドアインナー構造をModule化することで、組み立て時の作業穴を廃止でき、音を効率的に室内に鳴らすことができる。

また、新型デミオではイグニッションキーをオンすると、オーディオの液晶表示に「Chao! DEMIO」と数秒間表示される遊び心のあるものとした (Fig.16)。

9.2 ナビゲーション

地図メディアを従来のCDタイプからDVDタイプに向上させた。このDVDによる豊富なデータを活かして、よりリアルな描画を可能とした (Fig.17)。

また、VICS、FM多重、TV機能をナビゲーションと一緒に搭載している。そしてBクラスとして、女性やエントリーユーザの運転支援のために、バックモニターも同時に搭載している。

スマートメディアを媒体として①オープニング画面や壁紙のカスタマイズ (350kbyte以下のJPEGフォーマットデータに対応) ②登録地点や登録ルートの同じナビゲーション同士での交換などが可能である。

追加オプションによる拡張機能として、以下の2点を備えている。

(1) マツダ テレマティクス機能

インターネット閲覧・Eメール機能・施設情報検索機能・ハンズフリー機能などの機能拡張が、追加キットを装着することで可能となる。新型デミオより、音声認識によるナビゲーションの操作を可能とした。

(2) ETCとの連携

近年、開始された高速道路自動料金徴収システムと連携する機能を追加した。具体的には、ナビゲーションの画面で、履歴の確認・料金表示・主要料金所でのゲート案内などが可能となる。



Fig.16 Audio Panel



Fig.17 Navigation:Sample Picture

10. おわりに

新型デミオのパッケージは、機能の高さと心地よさが体感できるものに仕上がったと考えている。

最後に、開発・生産に際してご協力並びにご支援いただいた、社内外の関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

著者



伊藤 晃



中崎浩二



梅木哲哉



古藤政幸



岩本良幸



池田利文

特集：新型デミオ

19

新型デミオのダイナミクス Dynamics of New DEMIO

友 貞 賢 二*¹ 高 尾 亨*² 小 林 茂*³
Kenji Tomosada Tooru Takao Shigeru Kobayashi
今 田 隆 夫*⁴
Takao Imada

要 約

新型デミオはマツダのDNAの一つである「反応の優れたハンドリングと性能」を実現するため、特に正確で剛性感のあるハンドリング性能の開発に注力し、シャシーを一新した。

サスペンション形式としてはフロントにはマクファーソンストラット式、リアにはトーションビームアクスル式を踏襲しているが、フロントはサスクロスメンバを、ロアコントロールアームにはA型ロアアームを採用し、またリアのトーションビームのサイズを大型化するなどして、ジオメトリの最適化や剛性を向上させた。

ブレーキはマツダのブレーキDNAである反応の優れたブレーキを実現すべく、「ペダル操作に対して素早く、期待通りに反応するブレーキ」を狙いとして開発を行った。このため、ブレーキサイズの大型化やマスタシリンダサイズ大径化などを実施し、剛性感、応答のリニアリティを向上させ、コントロール性の向上を実現した。

Summary

New Demio is equipped with a new chassis which has been developed focusing on, especially, precise and stable handling performance in order to realize "Highly Responsive Handling and Performance", which is one of Mazda DNA.

A Macpherson strut type has been adopted for front suspension, and a torsion beam axle type has been followed for rear suspension. A front cross member, an A-type lower control arm, and a large-sized rear torsion beam have realized optimization of geometry and improvement of rigidity.

A brake has been developed, aimed at "a brake which responds to pedal operation as expected and quickly" in order to realize a highly responsive brake, which is Mazda Brake DNA. The brake and a master cylinder have been upsized to improve rigidity, linearity, and controllability.

1. はじめに

新型デミオはマツダDNAの一つである「反応の優れたハンドリングと性能」を実現するため、誰もが思い通りに運転できる、クラス概念を超えた運動性能を目標に掲げ、シャシーを一新した。具体的には下記項目に注力して開発した。

- ・正確で剛性感のあるステアリングフィール
- ・安心感を与える高い安定性
- ・剛性感と、角感のないマイルドな乗り心地

本稿では新たに開発した新型デミオのシャシーの特徴と、それらによって実現した性能について紹介する。

2. シャシー

2.1 サスペンション・ステアリング

(1) 開発の狙い

サスペンション、ステアリングは基本となるジオメトリの最適化や、その良さを引き出すために十分な剛性を確保することに注力し、柔らかいブッシュの特性を使用することにより、操縦安定性と乗り心地の高いレベルでの両立を狙った。

具体的には、ドライバーのハンドル操作または操作力に対して車両がリアに運動するよう、各部の剛性を上げ、また、ガタやフリクションを少なくすることにより、操作に

* 1 ~ 4 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

よる入力に対して、応答の遅れや非線形性を抑制し、ハンドルの操作による正確さや剛性感を追求した。

また安定性は、いかなる路面でもスムーズなホイールストロークで接地性を高めることにより、安定感を向上させた。特にリヤサスペンションの剛性や減衰力の応答性を上げることにより、後輪の追従性を向上させ安定感の向上を図ると同時に絶対的なグリップ力を向上させた。

乗り心地はサスペンションの取付け部の剛性を上げ、全体としての剛性は下げることなく、取付け部のマウントを柔らかくした。またダンパを効果的に作動させ、ポデーへの入力を穏やかにした。

(2) 構造と特徴

① フロントサスペンション・ステアリング

フロントサスペンションにはマクファーソン式ストラット形式を採用した (Fig.1)。



Fig.1 Front Suspension & Steering

ロアアームにはA型ロアアームを採用し、サスペンションのコンプライアンスによるアライメントやジオメトリの精度の向上を図った。また、サスペンション剛性を確保するため、サスペンションの入力を効率良く受けとめるフラットなクロスメンバを採用し、充分な断面を持たせた。

この高剛性のクロスメンバの採用により、サスペンションとしての剛性は維持しつつ、ロアアームブッシュは約1/4の特性まで柔らかく設定し (従来車比較)、マイルドな乗り心地の実現に寄与した。

ストラットはスムーズなストロークを実現すべく、ダンパに入る横力をキャンセルするスプリングを採用し、ダンパの作動フリクションを低減した。また、ストラットマウントは入力分離タイプのマウントを採用し、ダンパ減衰力の応答性を向上させた。これによりダンパ単体の減衰力を高めることなく (従来車比較)、しっかりと乗り心地とマイルドな乗り心地の両立を実現した。

またストラットベアリングはスプリングシートを一体化したボールベアリング式を採用し、操舵時のフリクション低減を図った。

ステアリングはエンジン回転感応式のパワーステアリングを採用した。ステアリングギアはラックハウジングとピニオンハウジングをアルミ一体成形とし剛性を向上させた。また、ギアはブッシュでクロスメンバにマウントし、従来のクランプタイプに比較して入力に対してヒステリシスのないリニアなブッシュ特性を実現した。その配置は低い位置とし、リニアなトー変化を実現した。

② リヤサスペンション

リヤサスペンションにはトーションビームアクスル式を採用した。荷室を広くするため、ダンパとスプリングは別々に配置し、特にスプリングは床下に配置することで荷室の拡大に寄与した (Fig.2)。



Fig.2 Rear Suspension

トーションビームは安定性や応答性を向上させるため、各種の剛性向上に注力した。サイドのトレーリングアームはキャンバ剛性を向上させるためパイプを用いた。また、トーションビームは大型の逆U字型のビームを採用し、キャンバ剛性、トー剛性の向上を果たした。

ダンパはモノチューブ式を使用し、減衰力の応答性の向上を図った。ダンパは単独のブッシュでポデーにマウントする入力分離タイプのマウントを採用した。これにより、フロント同様、低い減衰力 (従来車比較) でダンパの応答性の向上を図り、しっかりと減衰の効いた乗り心地とマイルドな乗り心地を実現した。

(3) 達成性能

① 操縦安定性

Fig.3は車速100km/h、操舵周波数0.3Hzでレーンチェンジした時の操舵力と操舵角のリサージュ波形を示す。そしてFig.4には中央値の勾配をグラフにまとめている。このリサージュ波形のヒステリシスの巾でステアリングフィールの正確さを、またこの勾配で剛性感を代表している。新型デミオは操舵角と操舵力のヒステリシスの巾

が小さく、フリクション感が少なく、操舵の切り返し等で急激な操舵力変化がなく、スムーズで正確なステアリングフィールが実現できている。またこの勾配は高いほど剛性感としては向上するが、オフセンタの操舵力とのつながりが悪化しステアリングフィールを損ねる。新型デミオはオフセンタの操舵力との繋がりをスムーズにして、ステアリングフィールを損ねることなく、競合車に比較してセンター付近の操舵に対する操舵力(手応え)の勾配が大きく、剛性感の高いステアリングフィールを実現している。

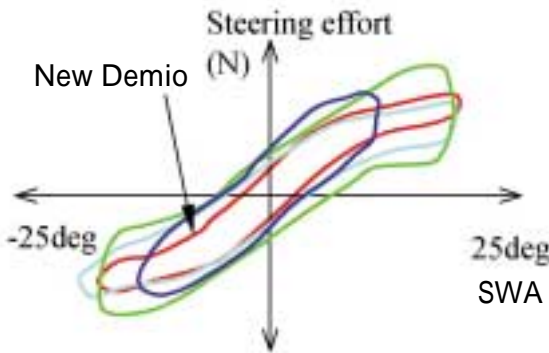


Fig.3 Steering Torque Characteristics (On center)

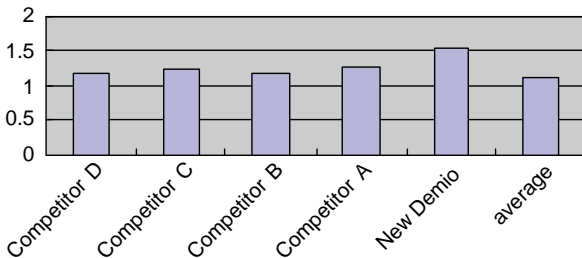


Fig.4 Steering Stiffness

Fig.5, 6に車速100km/hで0.4g相当の操舵をした際の周波数応答評価結果をまとめたものである。

Fig.5は0.6Hz時点のヨーレートと横Gの立ち上りの応答遅れをグラフ化している。新型デミオはヨーレート、横G遅れともにバランス良く、かつ小さな応答遅れを実現しており、操舵による、レスポンス良く、安定感の高い運動特性を実現している。

Fig.6はヨーレートの定常ゲインとヨーレートのピーク周波数をまとめたものである。定常ゲインは高いほど応答性が高く軽快感を実現できる。一方、ヨーのピーク周波数は高いほど、素早い操舵に対して的確にตอบสนองする能力を示している。新型デミオは高い定常ゲインで軽快感を出しつつ、かつ高いヨーレートのピーク周波数を

実現しており、素早い操舵にも追従し高い安定性を確保している。

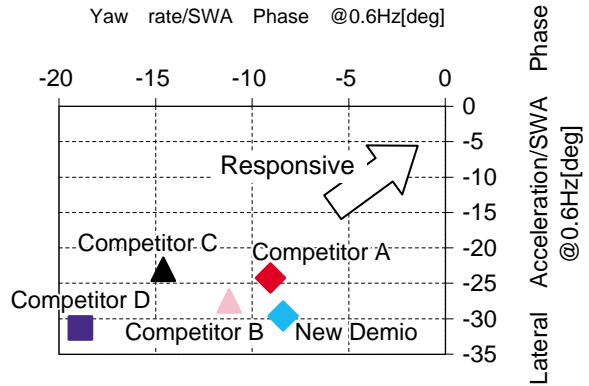


Fig.5 Delay of Yawing and Lateral Acc.

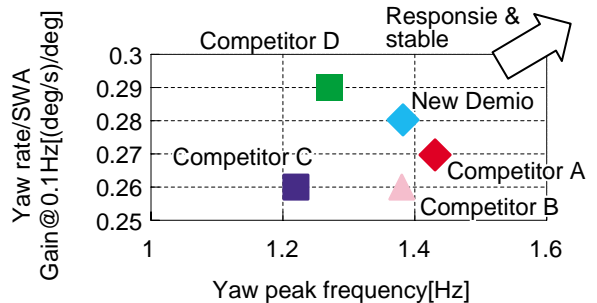


Fig.6 Yaw Gain and Peak Yawing Frequency

② 乗り心地

Fig.7, 8にコンクリートひび割れ路を50km/hでの走行時のフロア前後・上下方向振動のパワースペクトラム分析 (Power Spectrum Density, PSD) 結果を示す。上下方向5Hz付近の振動を抑え、突き上げ感で競合車を凌ぎ、また前後方向20Hz付近の振動を低く抑えることにより、ゴツゴツ感でも凌いでいる。

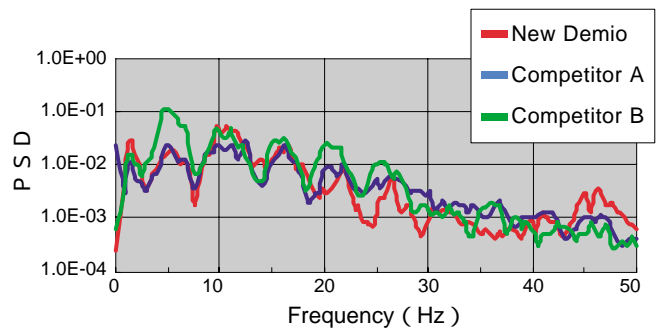


Fig.7 Floor PSD in Vertical Dir.

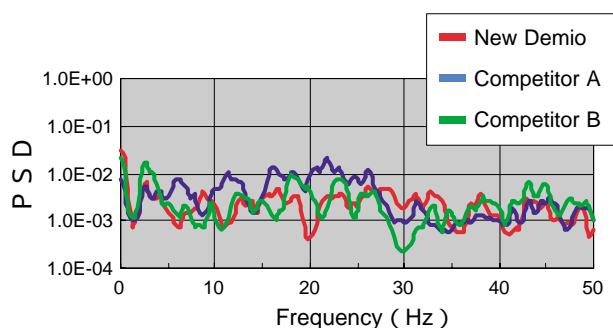


Fig.8 Floor PSD in Longitudinal Dir.

Fig.9は高速走行での突き上げ評価用の凹凸路を車速100km/hで走行した際の上下加速度を示す。

これから分かるように、新型デミオは高速でも上下加速度変化の少ない、フラットな乗り心地を実現している。

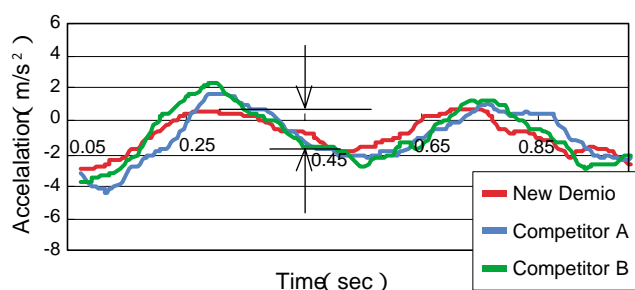


Fig.9 Floor Acceleration

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

新型デミオのブレーキは、マツダのブレーキDNA、すなわち「ペダル操作に対して素早く期待通りに反応するブレーキ」を具現化し、クラストップレベルの制動フィーリングと制動停止距離を実現することを目標とした。コントロール性の高い制動フィーリングを実現させるため、特に、ペダル剛性感の向上、リニアリティ感の確保に注力する車両特性目標を設定した。

(2) 構造と特徴

① マスタシリンダ/ブレーキブースタ

マスタシリンダ内径を 23.8に大径化させ、ペダル剛性感を向上させるとともに、リニアな制動フィーリングを得ることができるようブースタ特性をチューニングした。

② フロント・ブレーキ

フロントディスクブレーキは、ディスクプレート外径を 258に、ディスクプレート厚を22mmと大型化した。これにより、ブレーキの効き、効きの安定性、剛性感が

改善した。

③ リヤ・ブレーキ

リヤ・ブレーキのサイズは9インチであるが、シュー幅を36mmに広げ、効きの安定性を向上させている。

④ ABS/EBD (Electronic Brake force Distribution)

ABSは先に述べたベースブレーキ性能をフルに活かせるよう制御ロジックをチューニングし、滑りやすい路面等での、急ブレーキ時の車両姿勢変化とブレーキの効きをバランスさせ高い安定性とブレーキの効きを実現している。

ABS装着車にはEBDを標準装備とした。このEBDによりリヤ・ブレーキの配分を最適化し積載状態によらない高い効きを確保した。

⑤ DSC (Dynamic Stability Control System)

DSCをAT車にオプションで設定している。最適性能が得られるようチューニングを施したこのDSCは、エンジンとブレーキを同時に制御し滑りやすい路面や限界走行において車両の方向安定性を高めると同時に、発進時の車輪スリップをコントロールするトラクション機能によりドライバの運転を支援する。

⑥ BA (ブレーキアシスト)

ABS, DSC装着車には、緊急ブレーキ時にブレーキペダルを踏み込む力を補助するBAを標準装備した。このBAは、緊急ブレーキ時に、ドライバによるブレーキペダルの踏み込み速度と踏み込み力の2つのパラメータを感知し、ブレーキペダルの踏み込み位置によらず素早くシステムが作動する (Fig.10)。

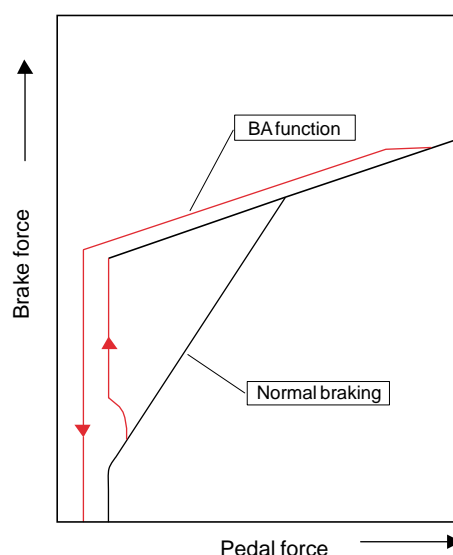


Fig.10 BA-Function

また、BA機構は、ブレーキブースタに内蔵されており、シンプルな構造とすることにより高い信頼性を確保している (Fig.11)。

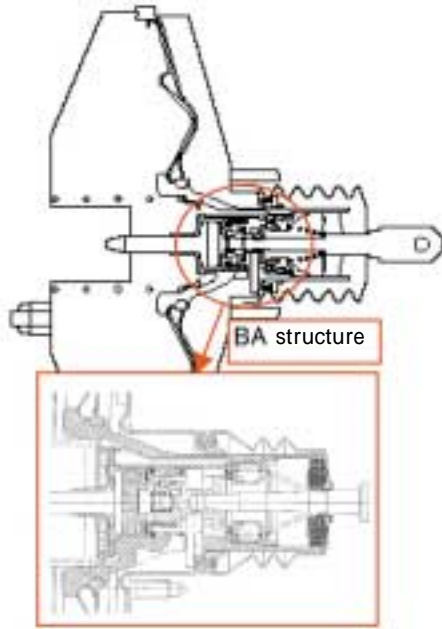


Fig.11 Vacuum Booster with BA

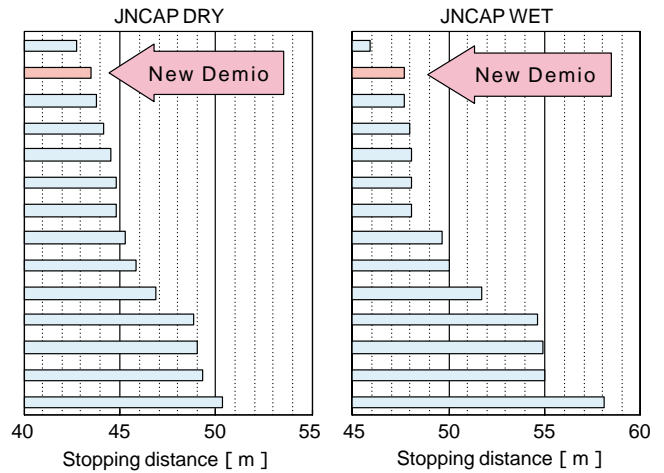


Fig.13 Stopping Distance

3. おわりに

以上、新型デミオのダイナミクス性能について紹介した。基礎技術の熟成により、ユーザの期待に応えるダイナミクス性能を実現できたと確信している。

最後に開発、生産に際してご協力並びにご支援頂いた社内外の関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

著者



友貞賢二



高尾 亨



小林 茂

(3) 達成性能

① フィーリング性能

Fig.12は、ペダル踏力と減速度の関係、およびペダルストロークと減速度の関係を示す。新型デミオは、競合車よりも優れた効きとストローク特性を実現していることがわかる。また、当初の狙い通り、ペダル剛性感の向上とリニアリティが確保できた、コントロール性の高いブレーキとなっている。

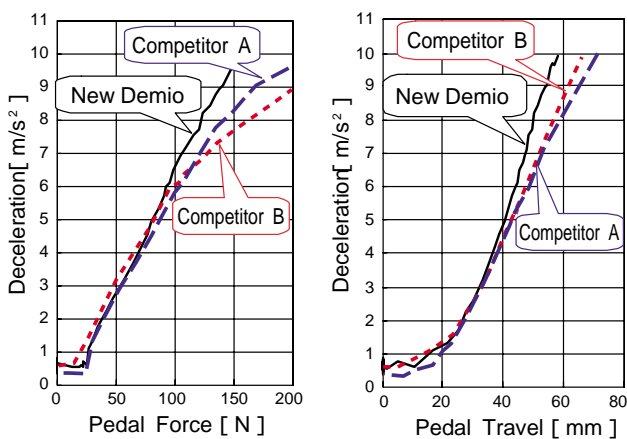


Fig.12 Feeling Performance

② 制動停止距離

Fig.13は、自動車事故対策センターで実施された制動停止距離試験結果を示し、新型デミオは、競合車中トップクラスの停止距離性能を実現している。

特集：新型デミオ

20

ホワイトキャンバストップの開発 Development of White Canvas Top

畠中 威*¹ 高松 敬二*²
Takeshi Hatakenaka Keiji Takamatsu

要 約

マツダは、様々な個性的な“屋根”を持つクルマを世に送り出し、常に業界をリードしてきた。

今回、ブランドDNAのもと新型デミオが採用したホワイトキャンバストップにおいて、光を透過するという他社に例を見ない新しいフィーチャーを実現した。同時に、このホワイトキャンバストップは、風騒音、シール性能など、従来のキャンバストップのネックとなっていた性能を飛躍的に向上させた。

これらの新フィーチャーと基本性能の向上により、柔らかな光に溢れる明るく快適な室内空間を実現することができた。

Summary

Mazda has introduced vehicles with various kinds of unique “roofs” and has been consistently leading the automobile industry.

In New Demio, which was developed under the new brand DNA, Mazda has realized unprecedented features such as canvas top that transmits light. In addition, this white canvas top has dramatically improved performance in wind noise, sealability, and so on, which had been a bottleneck of this kind of feature.

The new features and improvement in basic performance have realized a bright and pleasant interior space filled with sunlight.

1. はじめに

マツダはこれまで、ソフトトップ（ロードスター他）、オートフリートップ（ボンゴフレンドリー）など、様々な個性的な“屋根”を持つクルマを世に送り出し、常に業界をリードしてきた。キャンバストップもまた、マツダが他に先駆け開発した“屋根”の一つである。

キャンバストップは、一時期姿を消していたが、新しいコーポレートビジョンのもとで、“Zoom-Zoom”を具現化すべく、更なる機能を付加し、復活することになった。

2. マツダにおけるキャンバストップの歴史

マツダ初（同時に国内初）の電動キャンバストップ搭載車となったのは、初代『フェスティバ』（ブランドはフォード、1986年発売）だった（Fig.1）。この車は一大ブームを巻き起こした。

キャンバストップ搭載2号車となったのは、二代目『キャラル』（1989年発売）で、より低価格の車両にも展開されることにより、キャンバストップの普及に拍車がかかった（Fig.2）。

続いて登場したのが『レビュー』（1990年発売）で、このキャンバストップには、後ろ側からも開閉できる機能が搭載され、ルーフの短いセダンでありながら、後席の乗員に対しても開放感を与えることに成功した（Fig.3）。

しかし、このキャンバストップは、高機能である反面、



Fig.1 『FESTIVA』（1st）

* 1, 2 ボデー開発部
Body Development Dept.



Fig.2 『CAROL』(2nd)



Fig.3 『REVIEW』

操作が複雑になる弱点も同時に持ち合わせていた。

二代目『フェスティバ』(初代同様フォードブランド, 1993年発売)には, 旧来のシンプル操作のキャンバストップが搭載された。この車両は, ルーフ部分の短いデザインで, キャンバストップの開口部も小さいものとなり, その魅力を十分に発揮できてはいなかった。

3. ホワイトキャンバストップの狙い

キャンバストップの特徴は, 室内スペースを犠牲にすることなく, 開時にはオープンカーに迫る大きな開口面積を持つことで, これによりサンルーフとは一味違う開放感が得られることである。

ホワイトキャンバストップではさらに, この広大な面に光透過性を持たせることにより, キャンバストップ閉時においても, 『柔らかな光に溢れる明るく快適な室内空間』を実現した。

これに加え, 従来のキャンバストップでは, 開放感とのトレードオフになっていた風騒音性能をはじめとする各種基本性能の向上を行い, 開時, 閉時を問わず, ノーマルルーフに匹敵する快適さを実現した。

3.1 新開発トップレザー材料の採用

ホワイトキャンバストップの最大の特徴は, 光線を透過することにある。

今回のキャンバストップの肝とも言えるトップレザーは, 多層ラミネート構造となっており, 各層とも可視光線を透過する材質を選んでいる。構成は, 防汚性に優れたフッ化ビニリデンフィルム, ポリエステル織布, 遮音性を高めるPVC層の基本の三層に加え, それぞれを繋ぐ接着層, キャンバストップ開時にPVC層同士の張り付きを防止するアクリル系樹脂層を含む六層構造になっている (Fig.4)。

光透過を実現するため, シーリングレザー (内張り) も半透明のPVCフィルムを使用している。

光の透過率の決定に際しては, 社内でモニター評価を行

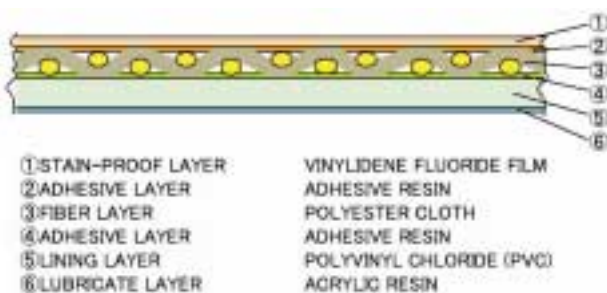


Fig.4 Structure of Top Leather

い, 多くの人が最も心地良いと感じるレベルを選定した。

3.2 光透過と快適性の両立

光は, その波長により, 紫外線・可視光線・赤外線の種類に分類される。

可視光線を含めた各光線の透過率をFig.5に示す。皮膚がんや内装材の劣化の要因となる紫外線については透過させないように, 紫外線吸収剤を含む素材を使用した。赤外線については透過はするものの, 室内温度上昇に対する影響が少ないレベルであることを実車評価で確認した (Fig.6)。

可視光線を透過させるため, キャンバストップのレザー色はその名のごとく “ホワイト” としたが, “ホワイト” であるがゆえに, 従来の黒 (を含む濃色系) の素材では問題にならなかったような軽微な汚れであっても, 非常に目立ってしまう。

この問題に対しては, 前述の様に, キャンバストップ表面に, 防汚性に優れたフッ化ビニリデンフィルムをラミネートするとともに, 表面を絞のないプレーンな仕上げとすることで, 汚れが付き難く, かつ落ちやすいものとした。また, シール性能の向上により, 従来型のキャンバストップでは, 使用しないように市場にアナウンスしていた自動洗車機に対して, 布洗車タイプ限定ながら使用可能になり, 大いにメンテナンス性を高めることができた。

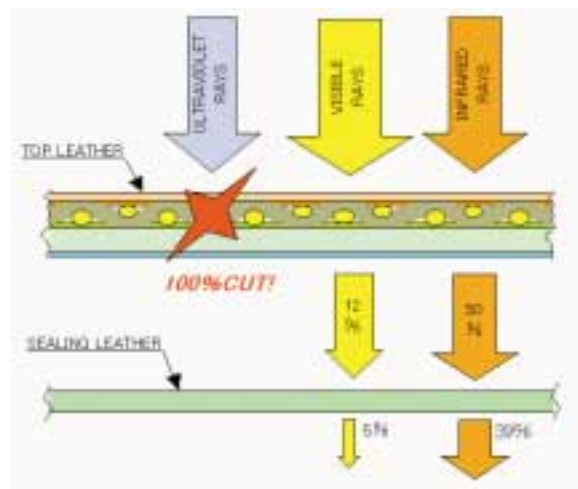


Fig.5 Rays which Pass Through Canvas Top

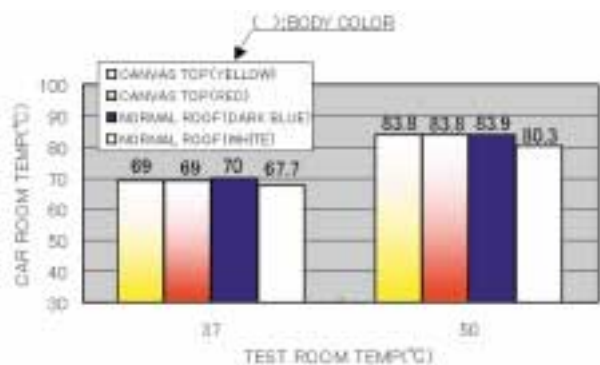


Fig.6 Vehicle Sunload Test Result

3.3 可倒式デフレクタの採用

キャンバストップの開閉に連動してチルトアップする可倒式の大型デフレクタを採用している。

デフレクタを可倒式にすることにより、キャンバストップ閉時、開時それぞれの状態で、最適に気流をコントロールすることが可能になっている。

また、キャンバストップ閉時の車両全高の増加を抑制する効果もあり、旧デミオからの好評点の一つである一般的な立体駐車場の利用が可能になっている。

3.4 衝突性能

キャンバストップ車は、ルーフパネルが大きく切り取られるため、そのままではルーフ部の強度、剛性が低下する。

強固なキャンバストップフレームと、ルーフサイドからの荷重を同フレームに効率よく伝えるガセットの設定により、ノーマルルーフ車と同等の衝突性能を確保できた (Fig.7, 8)。

さらに、荷重を受けるキャンバストップフレームは、四辺ともにアルミ押し出し材とし、コーナー部をガラス繊維入りの樹脂部品で強固に結合することで、十分な強度と剛性を確保すると共に、軽量化に成功している (Fig.9)。

4. 注力点と実現手段

4.1 風騒音性能の改善

従来のキャンバストップは、風騒音に対する評価が芳しいものではなかった。

風騒音性能を向上させる方法は大きく2つに分けられる。1つは風騒音の発生を抑制する方法で、もう1つは騒

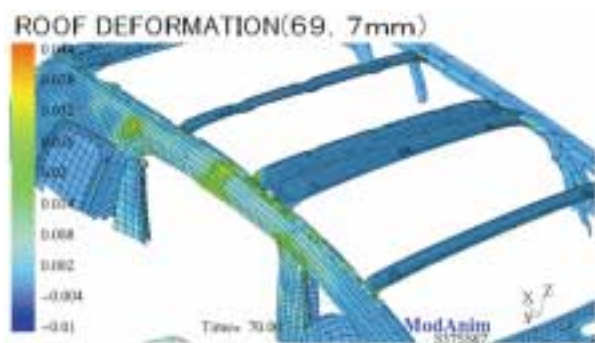


Fig.7 Roof Deformation (Nomal Roof)

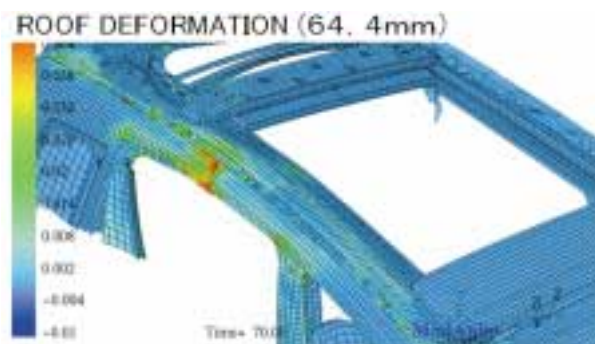


Fig.8 Roof Deformation (Canvas Top)

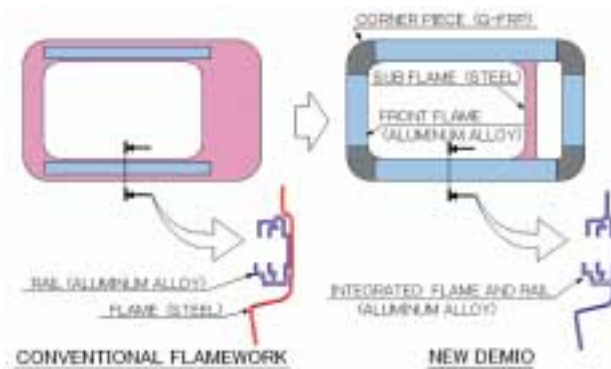


Fig.9 Framework (Old/New)

音の伝達を抑制する方法である。

従来のキャンバストップでは、開時の風騒音の発生を抑制するため、大型のデフレクタで、風の巻き込みを防止していた。一方で大型のデフレクタは、キャンバストップ閉時には、ルーフ上面に乱流を発生させ、レザーのばたつきによる騒音発生の要因になっていた (Fig.10)。

このため、従来車は、トップレザーとシーリングレザーの間に、インシュレータを設定し対策していた。

今回のキャンバストップでは、光透過の機能を実現するため、インシュレータの設定が行えず、キャンバストップ閉時も含め、風騒音の発生自体を抑制する必要があった。

そして、ルーフ上面の気流をスムーズにし、キャンバストップ閉時の風騒音の発生を抑制するためには、デフレクタをルーフに対しフラッシュにする必要があった。

この要件と開時の性能を両立させるため、可倒式デフレクタを選定した (Fig.11)。

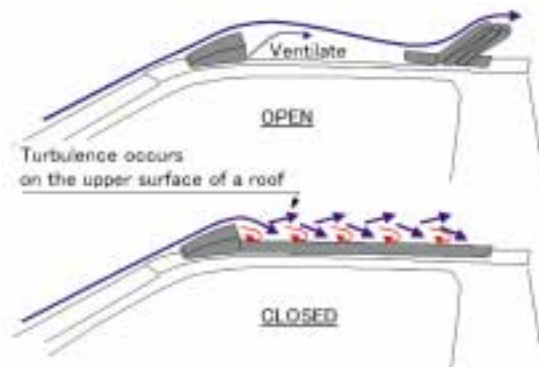


Fig.10 Air Flow (Fixed Type Deflector)

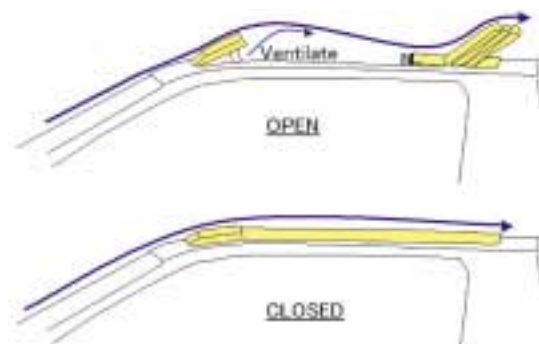


Fig.11 Air Flow (Folding Type Deflector)

この効果についてはFig.12に示す通りで、インシュレータを使用していないにもかかわらず、従来のキャンバストップより、優れた風騒音性能を実現できた。

また、可倒式としたことで、開時のデフレクタのセット位置を、閉時の弊害を考慮することなく、最適な位置にセットすることが可能になった。その結果、全開時においても従来のキャンバストップより、優れた風騒音性能を実現できた。



Fig.12 Wind Noise Level (Wind Tunnel Test)

4.2 表皮耐久性の確保

汚れ防止を目的として、フッ化ビニリデンフィルムを選定したが、同材料には柔軟性に欠けるといふ、折りたたみ構造が必要なキャンバストップに採用するためには、大きな課題があった。また、トップレザー裏面に用いているPVCも遮音性などの機能を満足させるために、一定以上の厚みが必要で、これもトップレザーの柔軟性を阻害する要素になっていた。

このため開発当初は、キャンバストップの開閉に伴う屈曲を繰り返し行った際の耐久性に課題を抱えていた。

これに対し、PVCの剛軟度の最適化、トップレザーの折り返し部の溶着箇所変更、並びに折れ曲がりの起点となる『しおし』の追加を行うことで、最終的には十分な耐久性を確保することができた。

4.3 シール性能の確保

従来の素材に比べ、今回のトップレザーは硬く、開閉後、表面に小さな折れ皺が発生しやすいため、ウエザーストリップとの当たりが弱い部分が発生する。このため開発当初は、同部位に高い圧力で水をかけると、車室内へ浸水するという課題を抱えていた。

これに対し、比較的皺が発生しにくかつ、押さえ圧が得られるテンションケーブル直下に、ウエザーストリップの止水リップを追加すると共に、トップレザー側にPVCシートを追加した。この結果、最終的には従来のキャンバストップ以上の防水性能を確保することができた (Fig.13)。

また、高速走行時の空気の吸出しについては、前述の可倒式デフレクタによる整流効果と合わせ、時速100km/hでも吸出しが発生しないことを確認している。

4.4 臭気の改善

キャンバストップのような大面積のPVC樹脂材料では、材料中に含まれる添加剤などにより、ビニール臭が懸念さ

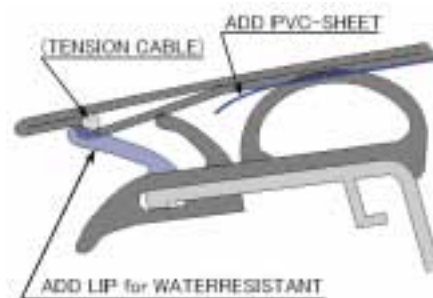


Fig.13 Seal Construction (Side Part)

れる。

新型デミオでは、臭気ガスの組成分析を徹底的に行い、原因となる物質を排除することにより、臭気の発生を防止している。

5 . おわりに

二代目フェスティバの量産を終了してから6年ぶりの新規開発のキャンバストップとなったが、その間、市場要求品質の高レベル化などもあり、新規開発項目ではない部分でも、様々な問題に突き当たった。

しかしながら、関係各位の協力のもと、これらを1件1件つぶしていった結果、従来以上に完成度の高いキャンバストップを世に送り出すことができた。

最後に、今回のホワイトキャンバストップの開発にあたり多大なご協力をいただいたベバストジャパン(株)殿ならびに平岡織染(株)殿に感謝の意を表します。

著者



畠中 威



高松 敬二

特集：新型デミオ

21

新型デミオの衝突安全性能 Passive Safety of New DEMIO / Mazda 2

柴崎宏武*² 曽我部 洋*³
Hiromu Shibasaki Hiroshi Sogabe大塚正志*⁴ 菊池 莊吉*⁵
Masashi Ohtsuka Soukichi Kikuchi

要 約

新型デミオでは、運転のしやすさ、心地よさ、きびきびした走りを提供することに加え、車の基本性能である衝突安全性能をより高いレベルで達成することを目標とした。このために、各国の法規制より衝突速度を上げるなど独自の厳しい衝突安全基準を設定し、高剛性で強固なキャビンとエネルギー吸収効率の高い骨格の実現を目指した。具体的には、フルラップ衝突、オフセット衝突、側面衝突、後面衝突などの衝突安全基準を満足させること、衝突安全アセスメント（New Car Assessment Program（以下NCAP））でトップクラスの性能を得ること、更には歩行者保護性能や子供安全性能など幅広い安全性能についても高い目標を設定して開発を行った。そして、コンピュータ解析技術も多角的に活用し、衝突安全ボデーMAGMA*を進化させるとともに、デュアルステージフロントエアバッグ、カーテンエアバッグ、ISO-FIX対応チャイルドシート固定機構などの最新の安全装備を採用し、更に歩行者の安全にも配慮した高い衝突安全性能を実現した。

本稿では、これら衝突安全性能について述べる。

*MAGMA：Mazda Geometric Motion Absorption（マツダの全方位衝撃吸収構造ボデー）

Summary

The new Demio has been developed to achieve higher-level crash performance, one of basic performances of an automotive, in addition to excellent drivability, comfortable ride, and exciting drive. To realize higher-level crash performance, a Mazda-unique crash safety standard which is severer than any regulation in the world has been introduced, and a rigid cabin and a high energy-absorption framework have been developed. Specifically, targets were defined to satisfy crash safety standards for offset frontal, full-lap frontal, side and rear impacts, to obtain top-level ratings in NCAP (New Car Assessment Program), and to achieve higher performance in a wider range of safety such as pedestrian protection and child restraint performance. As a result, the new Demio has attained higher crash safety performance including pedestrian protection performance, by making multilateral use of computer analysis technology, by adopting evolved MAGMA*, a crash safety body, and by employing the latest safety equipment such as dual stage air bag, curtain air bag, and ISO-FIX child seat.

This paper describes summarized crash safety performance on the new Demio.

*MAGMA：Mazda Geometric Motion Absorption

* 1 ~ 3 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

* 4 装備開発部
Interior Components Development Dept.

* 5 CAE部
CAE Dept.

1. はじめに

近年、自動車の衝突安全性に関する関心の高まりにより、その性能向上が求められている。そこで、我々は高次元での衝突安全技術の追求を行い、より安全な車の開発に取り組み、最新の計算解析を中心とした開発手法を適用することで衝突安全性を向上させている。

新型デミオでは、万一の衝突事故に備え、乗員へのダメージを最小限に抑えるために、世界最高水準のマツダ衝突安全ポデーMAGMA構造を基本に、世界トップレベルの衝突安全性を開発した。安全装備では、衝撃の強さに応じて展開パターンを最適化するデュアルステージフロントエアバッグやカーテンエアバッグ、ISO-FIXに対応したチャイルドシート固定用バー、歩行者の安全にも配慮したボンネットなど様々な最新技術を取り入れ幅広い安全装備の充実を実現した。

2. 衝突安全ポデーの開発

衝突時のエネルギーを車両全体に分散させて客室の変形および衝撃を抑制する、優れた衝撃吸収性能をもつ衝突安全ポデー (Fig.1) を採用し、高い衝突安全性を実現した。前面衝突に対しては、フロントサイドメンバとダッシュの強化に加え、衝撃分散構造にすることで前方からの衝撃を吸収し、オフセット (以下ODB) 衝突時の客室変形を抑えることを可能にした。側面衝突には、従来から更に進化したトリプルH構造で対応し、後面衝突には、大型断面リアサイドメンバをストレートに通すことで強度を上げ、変形を抑えることを可能にした。

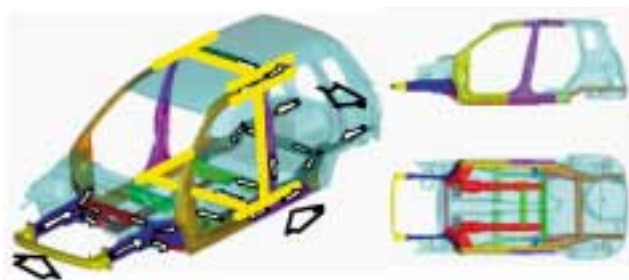


Fig.1 Triple H Cabin Structure

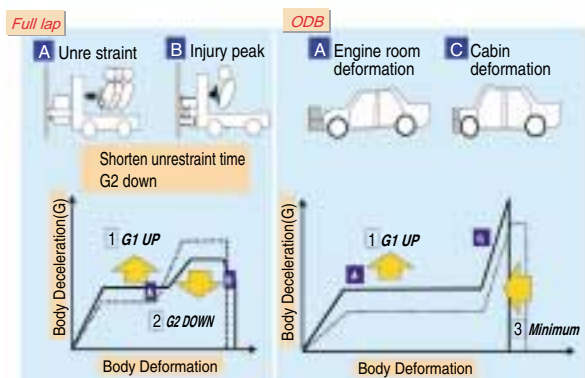


Fig.2 Deformation Characteristic for Frontal Crash

2.1 前面衝突性能開発

前面衝突時に乗員の安全を確保するためには、客室の変形を抑えながらも、車体前部を効率良く変形させて衝突エネルギーを吸収しなければならない。Fig.2に示すように、フルラップ衝突では車両前部で効率良く衝突エネルギーを吸収し、シートベルトなどの拘束装置の効果を上げるために衝突初期での車体減速度を上げ、乗員へのダメージを低減するために衝突後半の減速度を一定以下に抑えている。ODB衝突では乗員の生存空間の確保と下脚傷害低減のために、ダッシュ周辺の強度を上げることで客室の変形を抑えている。

新型デミオでは、CAE解析を中心とした構造検討を行い、車体および乗員拘束装置各部の構造を最適化し、これら二つの衝突性能を両立した。Fig.3に車体前部の具体構造を示す。高張力鋼板を用いたバンパビームやクラッシュカンを車体先端に設け、テラードブランクによりフロントサイドメンバの板厚の最適化により強度を高めることで、衝突エネルギー吸収を高めている。また、フロントサイドメンバから入力される荷重は、フロア下面にストレートにレイアウトされたフレームBへ伝達するとともに、ダッシュサイドレインによりサイドシルとヒンジピラーに効率良く荷重を分散させる三叉構造を採用し、更に、衝突時のダッシュパネルの変形を抑えるために、ダッシュクロスメンバを設け、サイドシルの変形を抑えるための補強を行い、客室を強固な構造にしている。Fig.4にODB衝突時の車体変形状態のCAE解析結果を示す。

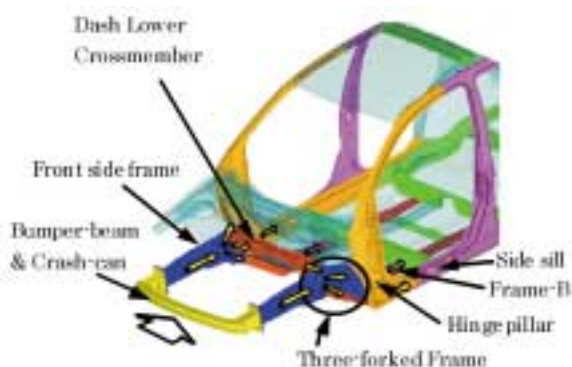


Fig.3 High Energy Absorption Body Structure for Front Impact

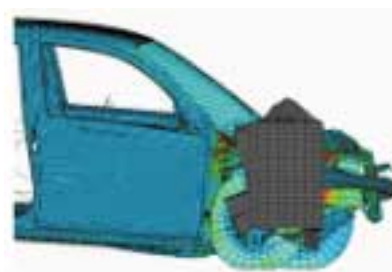


Fig.4 ODB Frontal Crash Analysis Model

2.2 側面衝突性能開発

側面衝突では、車体側面の衝撃部と乗員との限られたスペースで衝突エネルギーを吸収し、乗員の生存空間を確保する必要がある。そのためには、センターピラーの変形モードのコントロールや車体特性と内装特性の最適なバランス取りが求められる。新型デミオでは、これらを実現するために、FEM解析を中心に構造検討を行った。

Fig.5に示すように、従来のトリプルH構造を更に進化させ、変形の要となる部分の断面拡大や形状改善などの工夫を行った。センターピラーを中心に高張力鋼板を使用することで、トリプルH構造をより強固なものにしている。具体的には、センターピラーの中央部分の断面を十分確保しつつ、異なる板厚の高張力鋼板からなるテラードブランクによるレインフォースメントをピラー内部に挿入し強度バランスを最適化することで、ピラー下側が変形するような変形モードコントロールを行い、ピラー中央部への荷重集中を軽減する。これにより、乗員に近いピラーの変形を最小限にする。

またキャビンでは、No.2クロスメンバの高さをサイドシル上面に合わせ、ルーフビームの端部形状を工夫することで、センターピラーからの荷重をしっかりと受け止める構造とした。

内装系部品の特性に関しては、FEMモデルによる構造



Fig.5 High Energy Absorption Body Structure for Side Impact

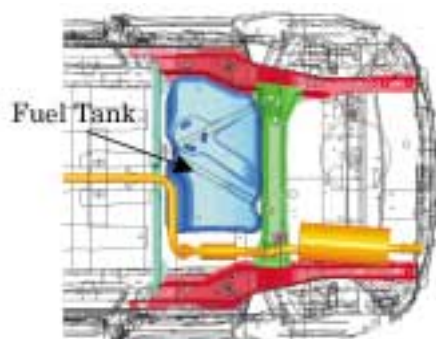


Fig.6 High Energy Absorption Body Structure for Rear Impact

解析と乗員傷害シミュレーションによる解析を繰り返し行うことで、最適な内装特性を採用した。

2.3 後面衝突性能開発

後面衝突では、乗員の生存空間の確保と燃料タンクの保護が必要である。そのためには、高い荷重でリヤサイドメンバを潰す必要がある。新型デミオでは、これらを実現するために、FEM解析を中心に構造検討を行った。

Fig.6に示すように、高い潰れ荷重耐性を実現するために、リヤサイドメンバの断面大型化を行うとともに、強度バランスを最適化することで、高い荷重でリヤサイドメンバ後部を変形させ、燃料タンク部分まで変形が及ばない構造とした。

更に燃料タンクに関しては、サイレンサとの干渉を防ぐために、タンク後方にサイレンサストップを設定し、より確実にタンクを保護している。

3. 安全装備の開発

3.1 デュアルステージフロントエアバッグ

エアバッグ展開に起因する傷害事故がクローズアップされ、エアバッグの低圧化やバッグ形状の改良など、バッグ展開性能の改善に取り組んできた。エアバッグ展開時の傷害リスクを低減するために、前面衝突時の衝撃の大きさを検知するエアバッグセンサとシュラウドメンバ上部中央に置かれたクラッシュゾーンセンサ、およびエアバッグを展開させるための二段階構造のガス発生装置であるインフレーターを採用している。これらにより、衝突時の衝撃の大きさによってエアバッグが展開する強さを決定し、展開指令信号を出して乗員保護に最適な強さでエアバッグを作動させるデュアルステージエアバッグシステムを開発した。これにより、Fig.7に示すようにエアバッグの展開強さを二段階に制御することができる。新型デミオでは、この最新エアバッグシステムを採用することで、低い速度での衝突では高い速度での衝突時に比べて乗員に加わるエアバッグの衝撃を弱くすることを可能にし、低中速衝突時でのエアバッグ展開によって受ける乗員の傷害リスクの低減と、高速衝突の乗員保護性能向上との両立を実現した。

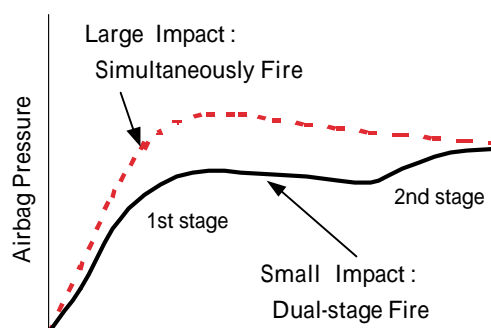


Fig.7 Effect of Dual-stage Inflator

3.2 シートベルト

シートベルトには、プリテンショナとロードリミッタが組み込まれている。プリテンショナは、衝突直後にシートベルトを瞬時に巻き取り、乗員の初期拘束性能を高める機構であり、エアバッグセンサからの作動指令信号を受けて作動する。ロードリミッタは、二段階に制御する可変ロードリミッタ機構を採用し、Fig.8のようにシートベルトに一定以上の力が加わらないようにすることで、乗員の胸部への衝撃力をより緩和している。これらは、前述のデュアルステージエアバッグとの併用により、前面衝突における乗員の保護機能を高めることができる。

3.3 カーテン・サイドエアバッグ

前述のエアバッグセンサは、センターピラーの根元に置かれたサイドエアバッグセンサとともに、側面衝突の大きさに応じ、衝撃を受けた側だけのカーテンエアバッグとサイドエアバッグへ展開指令信号を送り、作動させる。カーテンエアバッグは、車室内のルーフサイドレール上に取り付けられて、天井トリム内に収納されている。エアバッグセンサからの展開信号を受けると、天井トリムとウエザーストリップとの隙間からバッグが展開し、前後席乗員の頭部を保護する。更に前席シートバックの側面に内蔵されたサイドエアバッグは、カーテンエアバッグの展開信号と連

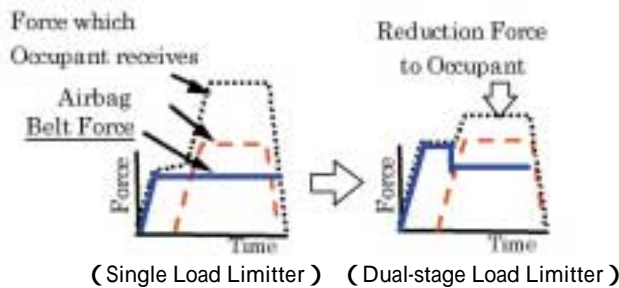


Fig.8 Effect of Belt with Dual-stage Load Limitter



Fig.9 Curtain Airbag and Side Airbag



Fig.10 Crash Optimal Brake Pedal

動して、前席乗員の胸部を保護する。Fig.9にカーテンエアバッグとサイドエアバッグの展開状況を示す。

これら二つのエアバッグの採用により、側面衝突時に乗員が受ける傷害を大きく軽減することが可能となった。

3.4 後退抑制ブレーキペダル

運転席乗員の足元に衝撃が加わるほどの激しい前面衝突時に、ブレーキペダルの突き上げで発生し得る下脚傷害を最小限に抑えるために、Fig.10に示す後退抑制ブレーキペダルを新たに採用し、ペダル取付け部のキャビン内への突出に伴ってペダルをドライバーの足元から離すことで、傷害リスクの軽減を図った。

3.5 トップテザー付ISO-FIX対応チャイルドシート

後席左右席には、国際規格ISO-FIXに対応する固定用バーを採用し、ベルト固定式タイプに比べチャイルドシートを簡単確実に固定できるように配慮した。

更に、トップテザー固定用アンカ（Fig.11）を後席左右席のシートバック下部に採用し、トップテザーベルトを固定することで、衝突時のチャイルドシートの前方回転を抑制し、子供の頭部が前方に大きく移動するのを防いだ。この結果、フロントシートやピラーへの2次衝突による頭部傷害リスクを軽減することができた。

3.6 荷物侵入防止後部シート

前面衝突時に、トランクルーム内の荷物が客室に侵入することで後席乗員に危害を与えないように、後席シートに荷物侵入防止構造を採用した。



Fig.11 ISO-FIX Child Seat Top Tether Anchorage

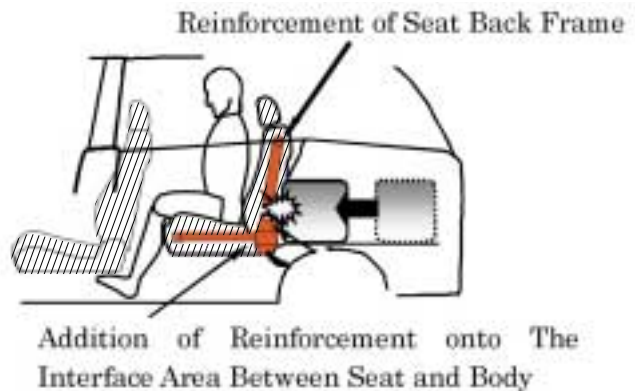


Fig.12 Protection Rear Seat

荷物が後部シートへ衝突する際のエネルギーを効率的に吸収するため、強固なシートバックフレーム、およびシートバックをしっかり支えるシートクッションフレームとボデーの取付構造を採用することで、欧州の法規制相当の高い安全性能確保を可能にした (Fig.12)。

3.7 ソフトインテリア

各ピラーやルーフサイド内部に、衝撃エネルギー吸収リブを内蔵する (Fig.13) ことで、米国の法規制相当の安全性を確保し、万一の事故時に乗員頭部が客室内の内装品へ2次的に衝突する場合の傷害を軽減した。

3.8 歩行者保護ボンネット、ワイパー

ボンネットとエンジン内部品との間に十分な空間を確保するとともに、ボンネットのインナーパネルをV字レイアウトにすることによりエネルギー吸収効率を高めた衝撃吸収ボンネットや、衝撃時に軸部がスライドすることにより衝撃を吸収するワイパーピボットを採用することで、万一の人身事故時における歩行者頭部の傷害リスクの低減を図った (Fig.14)。

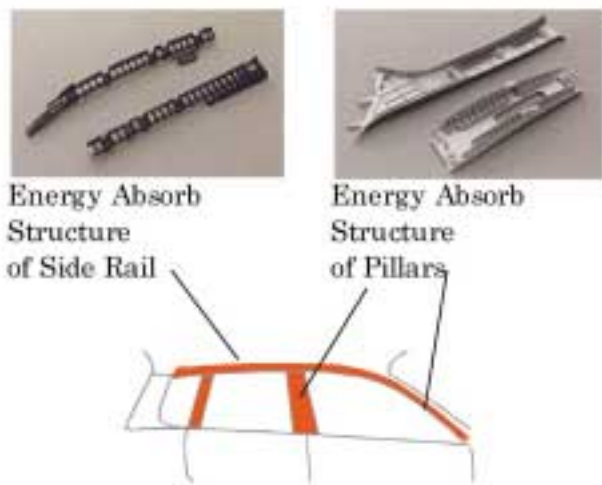


Fig.13 Energy Absorb Structure



Fig.14 Pedestrian Protection Structure

4. おわりに

本稿では、新型デミオの衝突安全性能の開発概略について紹介したが、マツダの取組みと、新型デミオの性能・品質の高さを感じ取って頂ければ幸いである。

最後に、これらの開発に多大な協力を頂いた多くの方々に、この紙面を借りて深く感謝の意を表す。

著者



柴崎宏武



曾我部洋



大塚正志



菊池荘吉

特集：新型デミオ

22

新型 MZR 1.3/1.5 エンジンの開発

Development of New MZR 1.3/1.5 Engine

宮腰 勝信*¹ 中本 敏秋*² 須藤 康博*³
 Katsunobu Miyagoshi Toshiaki Nakamoto Yasuhiro Sudou
 相賀 正一*⁴ 出口 博明*⁵
 Shoichi Aiga Hiroaki Deguchi

要約

新型コンパクトカーデミオに搭載されたMZR 1.3/1.5 エンジンは、アテンザに搭載したMZR 2.0/2.3 に続く、新世代エンジンシリーズ「MZR」の第2弾で、走りの感動を追求するマツダのブランドメッセージ「Zoom-Zoom」スピリットを具体化する新開発直列4気筒エンジンである。

この走って楽しいDNAをサポートするために、特に実用域でのベストインクラス（以下BIC）のトルク性能と心地よいエンジンサウンドの実現、および「優 - 低排出ガス車」認定を取得する優れた環境性能と卓越した信頼性を実現した。

本稿では、このエンジンの諸性能と達成技術について紹介する。

Summary

The MZR 1.3/1.5 is a newly developed I4 engine which has embodied the Mazda's brand message "Zoom-Zoom", the love of motion, and is mounted on the New Demio as the second of the 'MZR', one of Mazda's new-generation engine series, following MZR 2.0/2.3 engine mounted on the Atenza.

In order to support the Fun-to-Drive spirit of the Mazda's DNA, such targets have been achieved as BIC (Best In Class) torque, especially in a practical range, pleasant engine sound, Eco-friendly performance which meets the certification of 'Excellent-Low emission vehicle', and outstanding reliability.

This paper describes the performance and engineering attainment of the engine.

1. はじめに

近年、地球規模で取組まれている省資源、地球温暖化防止のため、CO₂排出量削減の重要課題に対応しつつ、次世代のコンパクトカーに相応しい走りや静粛性をも兼ね備えた、新型MZR 1.3/1.5 エンジンを開発した。本稿では新型デミオに搭載された本エンジンの技術的特徴について紹介する。

2. 開発のねらい

次世代のコンパクトカーに相応しいエンジンとするため、従来エンジンを一新し、以下に重点をおいて開発した (Fig.1)。

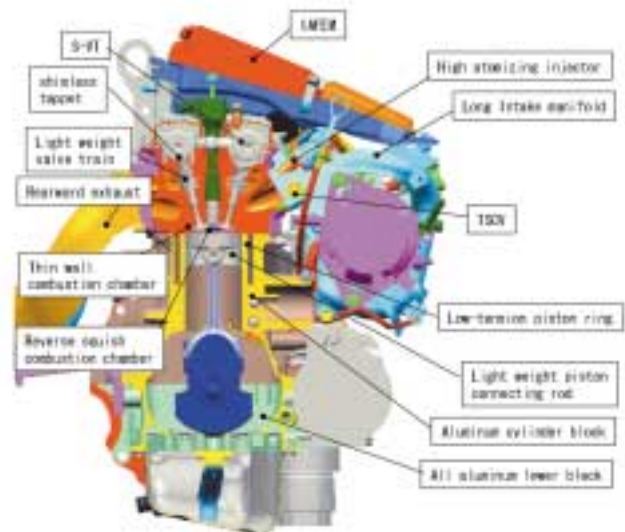


Fig.1 Main Introduced Technologies

* 1, 5 第1エンジン開発部
 Engine Development Dept. No.1

* 2 ~ 4 第3エンジン開発部
 Engine Development Dept. No.3

(1) 高性能

連続位相可変バルブタイミング (Sequential Valve Timing, 以下S-VT) を標準装備し、最適なバルブタイミングを設定、またロングインテークマニホールドや可変慣性過給システム (Variable Induction System, 以下VIS) の採用に加え、排気系のチューニングをすることで、中・低速域のトルク向上と、高速域の出力向上を両立する。

(2) 低燃費

燃焼室内の混合気流動の適正化と圧縮比向上による熱効率の改善、さらには動弁系、ピストン系等の機械抵抗低減による低フリクション化を図り、当社従来エンジン比約10%の低燃費を実現する。

(3) 低エミッション

後方排気レイアウト, TSCV (Tumble Swirl Control Valve), 高微粒化インジェクタの採用により平成12年度排出ガス規制の50%低減 (優・低排出ガス) を実現する。

(4) 軽量コンパクト

アルミ製シリンダブロック, 樹脂製インテークマニホールドの採用および吸気系モジュール化, 補機ブラケット類のシリンダブロック一体化により当社従来エンジン比20%の軽量化を実現する。

(5) 静粛性

オールアルミ製ロアブロック構造によりクランクシャフト支持剛性と、トランスミッションとの結合剛性の大幅な向上による中間周波数帯の振動低減, 更に動弁系, ピストン系等の高周波帯の騒音低減を行い, 伸びやかで澄んだ車内エンジン音を造り出す。

(6) メンテナンスフリー化

シムレスパケット, バルブステム径縮小およびアッパーシート小型化により動弁系の軽量化を行い, バルブシートの耐摩耗性向上を図り, 更に油圧テンション付チェーン駆動を採用することで車両ライフサイクル内でのメンテナンスフリー化を実現する。

3. エンジン諸元

1.3Lと1.5Lは部品の共通化を図りつつ、ポアサイズで排気量分けをした。ただし、インテークマニホールド等を専用設計し、それぞれに最適な吸気管径をチューニングすることで、中・低速トルクを最大限高めた。また、1.5L用にはVISを追加し、更に高い高速出力を確保した (Table1)。

4. 高性能・低燃費

4.1 高性能

実用域での扱いやすさから、中・低速トルクを重視し、常用エンジン回転域 (2,000rpm ~ 4,500rpm) において最大トルクの90%以上を確保するフラットで高トルクを目指し、吸入体積効率およびノック限界の向上を行うことで、他社エンジンを凌駕するBICの性能を実現した (Fig.2)。

Table 1 Main Specification

Engine	1.3L(ZJ-VE)	1.5L(ZY-VE)	
Arrangement and No.05 cylinders	Inline 4 Gasoline Engine		
Max Power (JIS net)	67kW/6000rpm	83kW/6000rpm	
Max Torque (JIS net)	124N·m/3500rpm	140N·m/4000rpm	
Bore x Stroke (mm)	74 x 78.4	78 x 78.4	
Displacement (cc)	1348	1498	
Valve Train System	DOHC 4 valve Chain-drive		
Cylinder Block	AL Diecasting		
Compression ratio	10.0		
Intake-valve time	open	-5 ~ 35 BTDC	-3 ~ 37 BTDC
	close	55 ~ 15 ABDC	53 ~ 13 ABDC
Exhaust-valve time	open	40 BBDC	53 BBDC
	close	-1 ATDC	3 ATDC
VIS			
Fuel type	Regular		

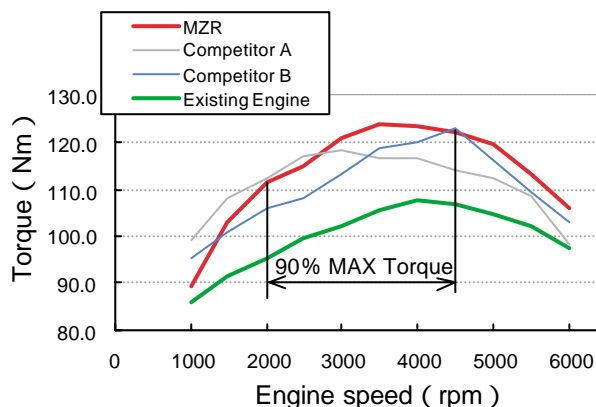


Fig.2 Engine Performance (1.3L)

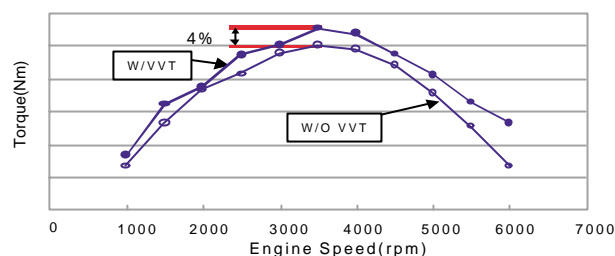


Fig.3 Torque up Effect by S-VT

(1) S-VT

回転・負荷等エンジン運転状態に応じた最適バルブタイミングの設定を可能にするS-VT (Fig.4) を追加することで、+4%のトルク向上を実現した (Fig.3)。また、このS-VTをMZR 1.3/1.5 エンジンへ標準装備するため、従来エンジンに装着しているS-VTに対し、作動用の油圧送経路すべてをエンジンの基本構造部分に内蔵化し、構造の簡素

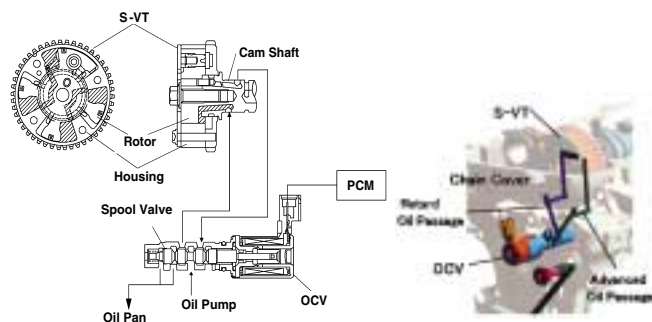


Fig.4 S-VT System

Fig.5 S-VT Oil Passage

化を行った (Fig.5)。

(2) ロングインテークマニホールド, VIS

エアクリーナについては、通気抵抗低減のため、CAEによる流速調整と形状最適化を行った。またインテークマニホールドは、排気量1.3L向けには600mmの等長管、排気量1.5L向けには、VISを内蔵し600mmおよび450mmの等長管を切り替えることにより、更に高回転域でのトルクを4%向上させた (Fig.6)。

4.2 低燃費

燃焼、冷却性改善による熱効率向上と低フリクション化による機械抵抗低減により従来エンジン比、約10%の燃費改善を実現した (Fig.7)。

(1) 熱効率向上

燃焼速度や熱発生パターン、燃焼安定性はタンブル流やスキッシュ流など筒内ガス流動特性に大きく影響されるが、逆スキッシュ流による後期の燃焼速度を上げることがノッキング改善に有効である¹⁾。本エンジンではペントルーフ燃焼室において、適正タンブル流を設定することで、初期の燃焼期間を延長し、更に後期の燃焼速度を上げて主燃焼期間を短縮することで、後期重心型の燃焼パターンを実現しノッキング改善を図った (Fig.8)。

また、シリンダヘッド内の水流を均一化するため、CAEによりシリンダヘッドのウォータージャケットの形状を選定し、ヘッド燃焼室壁面の冷却改善を行った (Fig.9)。加えてオイルジェットを採用によりピストンの冷却を強化した。

これらの結果、圧縮比を従来エンジンの9.4から10.0へ向上することができた

(2) 機械抵抗低減

① 動弁系

タペットのシムレス化、バルブシステムの細軸化 (6.5.5) およびアッパーシートの小型化による動弁系の軽量化により、バルブスプリング低荷重化を実現した (Fig.10)。さらにカムシャフトのカムロブ部とタペットの表面粗さを改善することで、動弁系の抵抗を20%低減した。

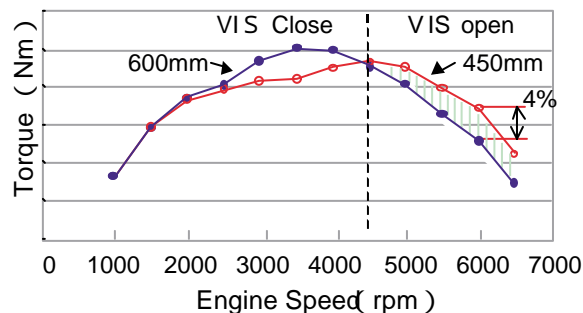


Fig.6 Torque up Effect by Long Intake

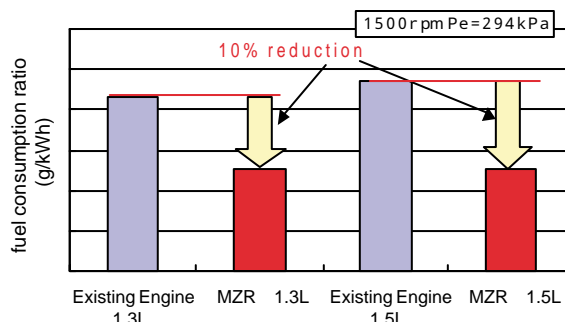


Fig.7 Fuel Economy Improvement

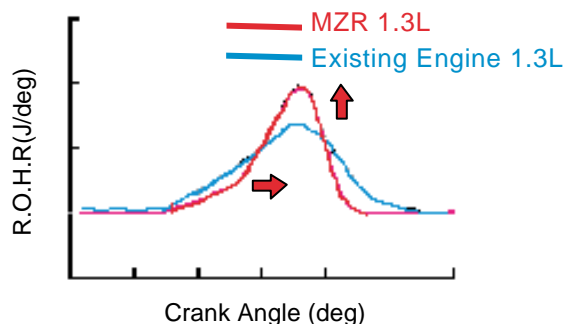


Fig.8 Comparison of Rate of Heat Release

② ピストン系

アルミ製シリンダブロックのT5熱処理、鑄ぐるみ鑄鉄シリンダライナの予熱追加とウォータージャケットの深さ選定により、ライナ回りの残留応力を低減し、ライナの真円度を向上させることで (Fig.11)、ピストンリング張力を17%低減した。

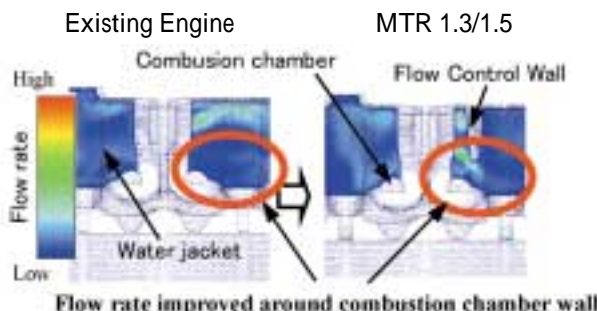


Fig.9 Water Flow Analysis within a Cylinder Head

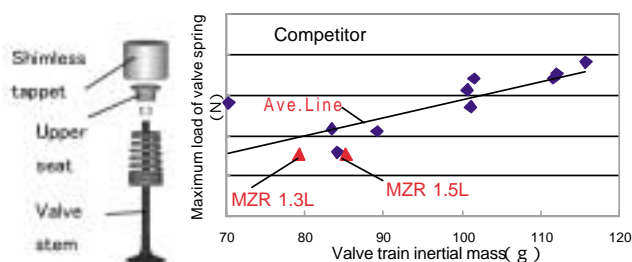


Fig.10 Valve Spring Force Performance

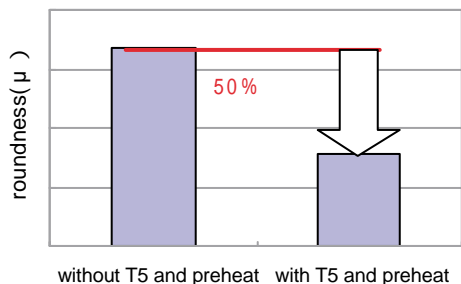


Fig.11 Circularity Improvement

5 . 低エミッション

従来エンジンにおいて前方に配置していた排気系を、後方へ変更することで、触媒までの距離を短縮化し、触媒の早期活性化を実現した。また、全エンジンにTSCV (Fig.12)を採用し、冷間始動時にバルブを閉じることで、筒内のタンブル比を強化して、燃焼改善を図っている。この結果、冷間始動時に点火時期を遅らせることで、排ガス温度の上昇を実現した。

これらの結果、冷間領域の触媒浄化効率が向上し、エミッションの改善を実現している。

また、ピストンのトップランド厚さを低減することで (Fig.13), 炭化水素HCの排出量を約18%低減した。

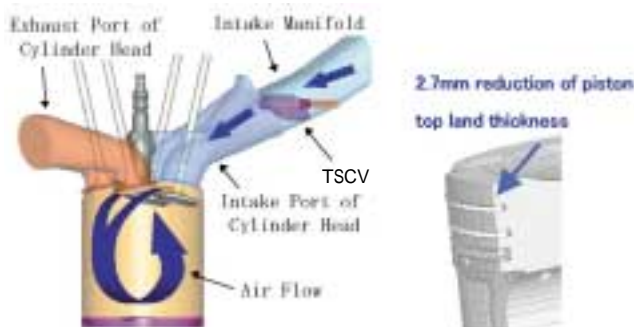


Fig.12 TSCV

Fig.13 Piston Top Land

6 . 静粛性

「伸びやかな」と「澄んだ」車内エンジン音を実現するために、ハーフ次、奇数次成分および中間周波数帯 (200 ~ 800Hz) の振動低減と高周波帯 (1 ~ 10KHz) の騒音低減を、以下項目を織り込むことで実現した。

6.1 エンジンユニット振動

(1) ブロック構造系

アルミ製シリンダブロックとオールアルミ製ロアブロックを基本構造 (Fig.14) とし、CAEを活用して効果的なリブ配置、肉厚選定を行った。これにより従来エンジン比、約10kg軽量化した上で、トランスミッションとの結合剛性を高め、曲げ、ねじり剛性を約20%向上、クランクシャフト支持剛性を約15%向上できた。

この結果、パワープラントベンディング (PPB) の周波数を従来エンジンから約60Hz向上させ、常用回転域から大幅に高い周波数域 (300Hz以上) とすることができた。

なお、本エンジンで採用したオールアルミ製ロアブロックには、ベアリングキャップの締付けに「新締付け法」を採用し、クランクシャフトジャーナルのメタルクリアランス縮小化によるエンジン振動低減を実現した。従来の締付け方法では、メタルのクラッシュハイトを潰す過程で有効軸力が低下しメタルクリアランスの拡大が生じる。そこで、各クランクジャーナル毎にクラッシュハイトの変動に応じて締付けボルトの軸力を補正制御する「新締付け法」を採用した。この結果、オールアルミ化による温間時のメタルクリアランス拡大を40%抑制することができた (Fig.15)。



Fig.14 Structure of Aluminum Cylinder Block and all Aluminum Lower Block

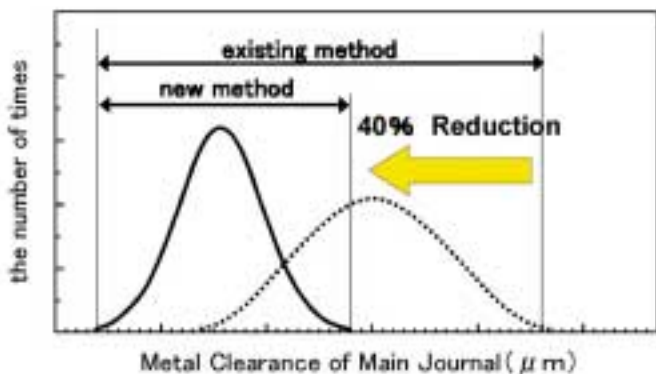


Fig.15 Effect by New Tightening Method

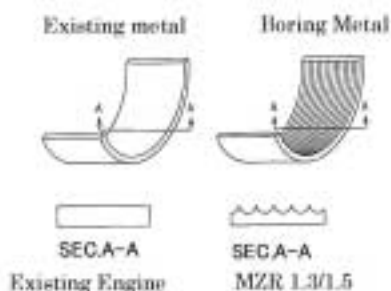


Fig.16 Metal

さらに、クランクシャフトメタルに、条痕メタルを採用した (Fig.16)。これにより油膜の保持機能が向上し、耐焼付き性が改善することで、クランクシャフトジャーナルのメタルクリアランス縮小を可能とした。

(2) ピストン系

ピストンスカートおよび圧縮高さの短縮化 (Fig.17) と、ピストンリングの薄巾化、コンロッドの細軸径化を行い、従来エンジン比約 8% の往復慣性力の低減を実現した (Fig.18)。また、ピストンスカートの高剛性化およびプロ

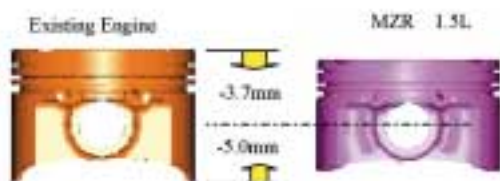


Fig.17 Piston

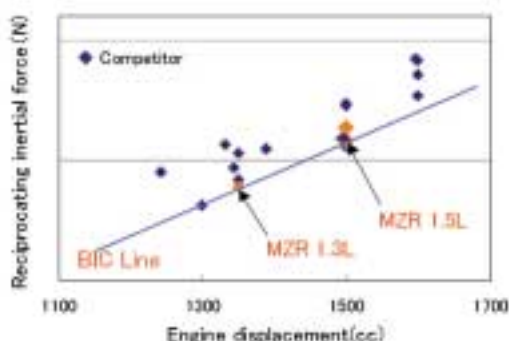


Fig.18 Performance of Reciprocating

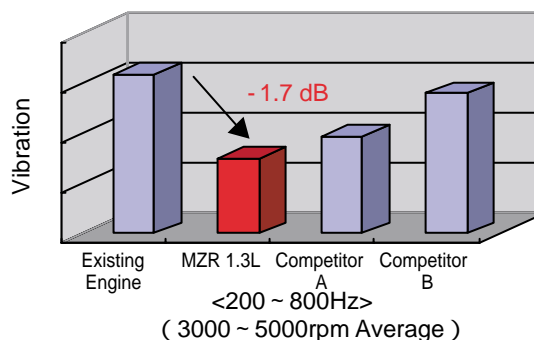


Fig.19 Vibration at No.3.Mt.Engine

フィールの最適化により、ピストン挙動を安定化させた。この結果、従来エンジンで実施していたピストン外径とシリンダブロックボア内径の 3 ランク選択組付けを廃止することができた。

これらの結果、クラストップレベルの静粛性と音質を確立した (Fig.19)。

6.2 エンジンユニット放射音

(1) 動弁系、チェーンシステム系

車内音に寄与度大きい排気バルブのクローズ側加速度低減やバルブリフトカーブの高周波成分低減等のカムプロフィール最適化を行い、動弁系加振力を低減することでエンジン放射音を改善した (Fig.20)。

カムシャフトの駆動には、スプロケットと斜めに衝突することで衝撃力を弱める 6.35mm ピッチのサイレントチェーンを採用し、静粛性を確保した。さらに、スキャンング

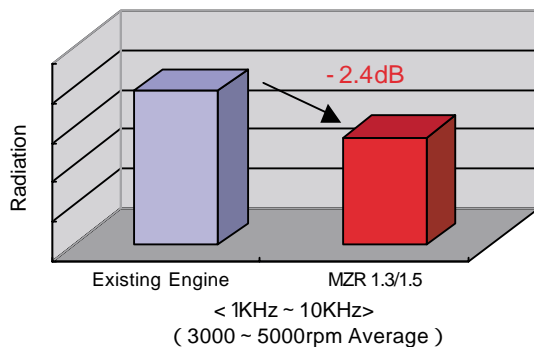


Fig.20 Improvement of Valve Train Noise

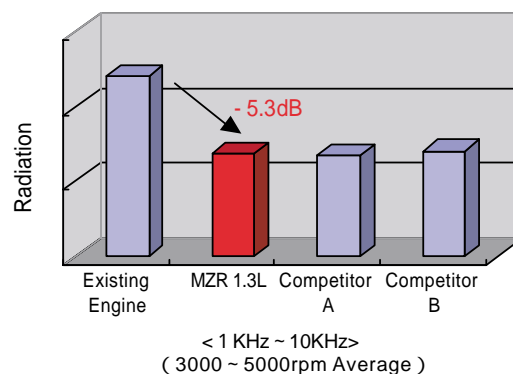


Fig.21 High Frequent Noise

レーザによる実機放射音解析を用いて、ヘッドカバー、フロントカバーの最適な肉厚分布、リブ配置を選定することで、高周波成分の騒音を低減した。

(2) 吸気系

インテークマニホールドに等長吸気管を採用し、奇数次数およびハーフ次数の音圧を低減し、音質を改善した。更に、エアクリーナをエンジン直上に搭載することにより、エンジン本体系からの高周波騒音低減も実現した。

これらの結果として、クラストップレベルの放射音が実現できた (Fig.21)。

7. 軽量・コンパクト化

このエンジン開発にあたっては、部品、システム毎に、徹底した軽量化・コンパクト化を実施した。

7.1 サーベントインと補機ブラケットの廃止

将来の電動パワーステアリング化および関連部品の共通化等を考慮した上で、補機配置を設定し、これらを1本の補機ベルトで駆動するサーベントインを採用した。また、エアコンコンプレッサ、パワーステアリングポンプ、オルタネータの各補機の取付けブラケットを廃止し、シリンダブロック、ロアブロックに直付けすることでコンパクト化と重量低減を実現した。その結果、従来エンジンに対し、87mmエンジン巾低減を実現した (Fig.22)。

7.2 IAFEM

IAFEMは、エアクリーナ・PCM (Powertrain Control Module) ・エアフロセンサ・エアホースで構成されるエアクリーナサブモジュールと、インテークマニホールド・スロットルボデー・フューエルディスタイブ・インジェク



Fig.22 Overall Height and Width of Engine

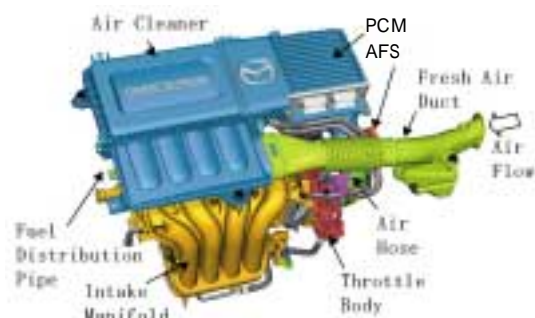


Fig.23 IAFEM

タで構成されるインテークマニホールドサブモジュールからなる (Fig.23)。

PCMをエアクリーナに内蔵し、PCMボックスとエアクリーナケースの機能統合を行っている。従来、車室内に搭載されていたPCMをエンジンルーム内のエアクリーナに内蔵することで、①PCMボックスを樹脂製のケースと一体化構造としてPCMボックスを廃止、②ワイヤーハーネスの線長短縮化およびコネクタ数削減、③エンジン吸気によりPCMを冷却し、冷却構造の簡素化等、効率の良いパッケージングを実現した。その結果、従来比で重量30%低減、納入部品点数で約95%削減を実現した。さらに車両工場ですべての仕様に合わせたPCMのプログラムを書き込むことで、従来比約70%のPCM種類数を削減できた。また、エアクリーナをエンジン直上に配置したにも関わらず従来エンジンと同等のエンジン全高とすることができた (Fig.22)。

8. まとめ

「Zoom-Zoom」コンセプトを具現化するための採用技術と技術構成を紹介してきた。

本エンジンは、今後の小型基幹エンジンとして、多くの車種に搭載していく予定であり、刻々と変化していく時代の要求に応えられるよう、常に改善を続けるよう努力していきたい。

開発に際しご協力いただいたお取引先様はじめ関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 藤本昌彦他：燃焼室がタンブル、スキッシュ流および燃焼パターンに及ぼす影響，自動車技術会 学術講演前刷集，NO.1-01(2001)

著者



宮腰勝信



中本敏秋



須藤康博



相賀正一



出口博明

特集：新型デミオ

23

IAFEM (Integrated Air Fuel Electrical Modules) の開発
Development of IAFEM (Integrated Air Fuel Electrical Modules)松浦浩治*¹ 高橋博志*² 横倉恒利*³

Koji Matsuura Hiroshi Takahashi Tsunetoshi Yokokura

西田智宣*⁴ 山田秀樹*⁵ 江角圭太郎*⁶

Tomonori Nishida Hideki Yamada Keitaro Ezumi

要約

デザイン要求, 居住性向上, 衝突安全性向上より, コンパクトなエンジンが要求されている。一方商品性向上より, 吸気騒音低減, 出力性能向上を目的に, エアクリーナの大容量化, インテークマニホールドのロングポート化が必要である。また, 大幅なコスト低減を行おうとすると現状のコンポーネントレベルの低減活動では限界があり, 新たな発想が必要である。これらを高次元で成立させるため, 高密度な吸気モジュールであるIAFEM (Integrated Air Fuel Electrical Modules) を開発した。本稿では新型デミオに搭載されたMZR 1.3/1.5エンジンに採用しているIAFEM技術について紹介する。

Summary

Nowadays, there are two conflicting requests placed on an engine. One is request for a compact engine to expand the possibility of car design and improve interior comfort and crash safety. The other one is for such technologies as increasing the volume of an air cleaner to reduce intake noise and increasing the length of an intake manifold port to enhance engine output, which can enhance vehicle marketability. Also, a significant cost reduction cannot be achieved by usual C/R activities in component level, therefore a completely new idea is needed. IAFEM (Integrated Air Fuel Electrical Modules), a high-integrated intake module, has been developed to respond to these requests at a time and employed for MZR 1.3/1.5 engines which are mounted on new Demio. This paper describes the technological features of IAFEM.

1. はじめに

マツダでは, 1999年にインテークマニホールドの樹脂化技術を完成させ, 前モデルのデミオにて採用している。この技術をベースに更なるコスト/質量低減, 商品性向上を目指し, 吸気系, 燃料系, PCM (Powertrain Control Module) を含む制御系部品を機能統合したモジュール構造の検討を行ってきた。Fig.1に示すように, 1995年頃より欧州を中心に吸気系・燃料系部品のモジュール化が進んでおり, 1998年にはMercedes-Benz A-Classにおいて, PCMまでインテグレート化したモジュールが発表されている。今回このA-Classレベルのインテグレート化に加え, 更に可変吸気, ロングポート化を行うことで商品性を向上

させたIAFEMを実現化したので, 以下にその技術内容について述べる。

2. IAFEMの構造

IAFEMは, フレッシュエアダクトと, エアクリーナ・PCM・エアフロセンサ・エアホースで構成されるエアクリーナサブモジュールと, インテークマニホールド・スロットルボデー・フューエルディスペイブ・インジェクタで構成されるインテークマニホールドサブモジュールからなる (Fig.2)。

エアクリーナサブモジュールは, インテークマニホールドの上部にレイアウトされており, 扁平化することで, ボンネットとのクリアランスを確保している。また, 吸気の

* 1, 2 第1エンジン開発部
Engine Development Dept. No.1

* 3 ~ 6 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

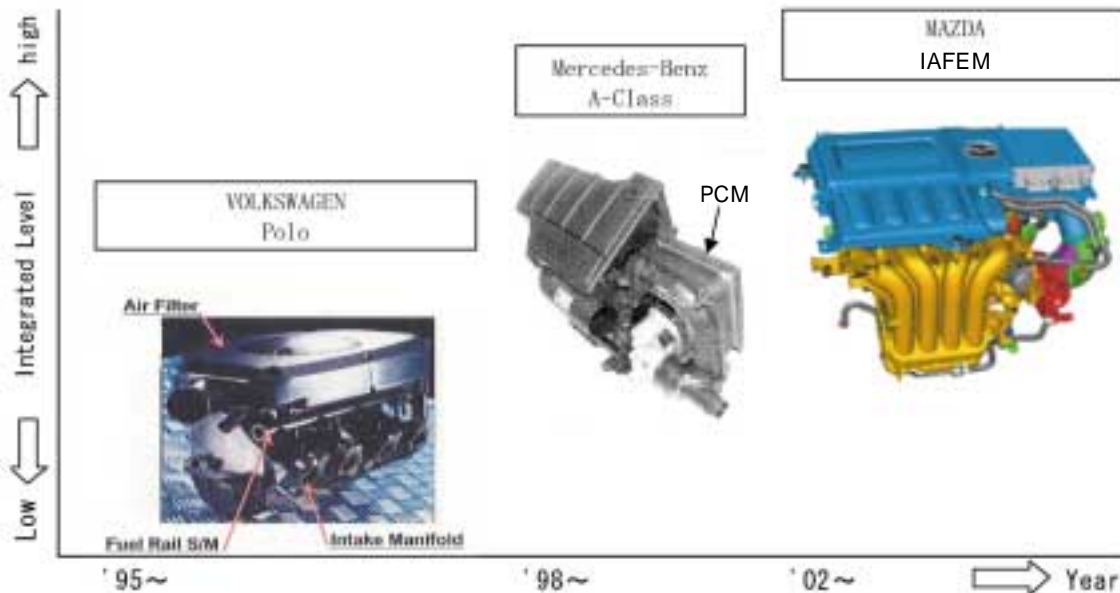


Fig.1 Trend of Integrated Modules

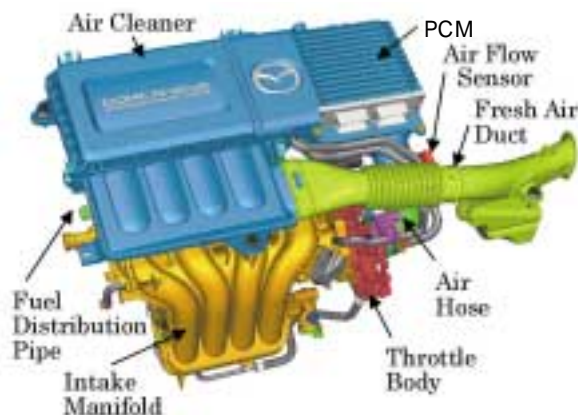


Fig.2 IAFEM

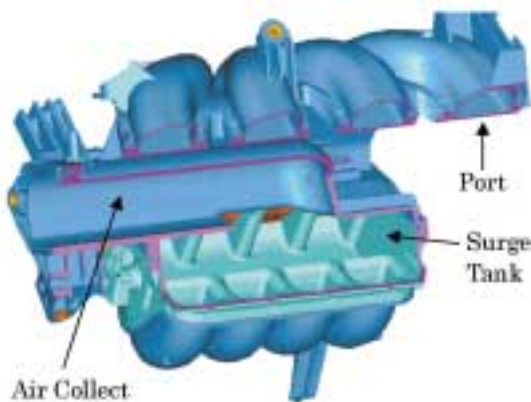


Fig.3 Intake Manifold

流れをスムーズにすることで、通気抵抗を大幅に低減している。

インテークマニホールドサブモジュールは、サージタンク部を独立ポートの内側に巻き込み、ポート内側の空間を効率良く利用することで、600mmのロングポート化を実現している。更に、スロットルボデーと、サージタンク中央部間にエアコレクト部を設け、各気筒までの吸気管長を等長化している (Fig.3)。

3. 機能統合

3.1 PCMボックスのエアクリーナケースとの一体化
PCMをエアクリーナに内蔵し、PCMボックスとエアクリーナケースの機能統合を行っている。従来、車室内に搭載されていたPCMをエンジンルーム内のエアクリーナに内蔵することで、①PCMボックスを樹脂製のケースと一体化構造としてPCMボックスを廃止、②ワイヤーハーネスの線長短縮化およびコネクタ数削減、③エンジン吸気によりPCMを冷却 (Fig.4) し、冷却構造の簡素化等、効率の良いパッケージングを実現した。

また、耐振性についてもエアクリーナを最適な硬度のラバーでフローティングマウントすることで耐振性基準をクリアした (Fig.5)。

以上の技術で、エアクリーナとPCMを機能統合することで、既存の基板構造を踏襲しながら、エンジン搭載時の耐熱・耐振性を確保することができた。

3.2 モジュール納入による生産性向上

構成部品をマツダエンジン工場近郊の最適拠点でアセンブリし、モジュール単位で納入することで、従来比約

95%の納入部品点数を削減した。

PCMについては、通常、車種・排気量・トランスミッション・出荷国の組合せにより、種類数が膨大となるが、車両工場では車両の仕様に応じたPCMのプログラムを書き込むことで、従来比約70%のPCM種類数を削減できた。

また、エンジン工場での着火テストをこのPCMで実施することで、テスト作業が簡素化すると共に、自動診断機能の追加により品質検査精度が向上した。更に着火ベンチ用PCM / ハーネスの廃止により設備投資も削減している。

3.3 コスト/質量/部品点数削減

構成部品を機能統合することで、部品間の締結部品を小型化、または廃止している。具体例として、エアクリーナ

をインテークマニホールド直上に搭載することで、エアホースを短縮小型化しており、また、インテークマニホールドにおいて、樹脂製品である特徴を生かし、ステー類を一体成型することで、締結部品を廃止している。これらの効果として、コスト/質量/部品点数を従来より大幅に削減できた (Fig.6)。

3.4 見栄え向上

エアクリーナをエンジン上部に搭載し、化粧カバーの機能を持たせた。上面デザインは、エアクリーナの基本機能である通気抵抗低減、放射音低減およびPCMの放熱から面剛性の向上を包含した機能美形状を追求した (Fig.7)。

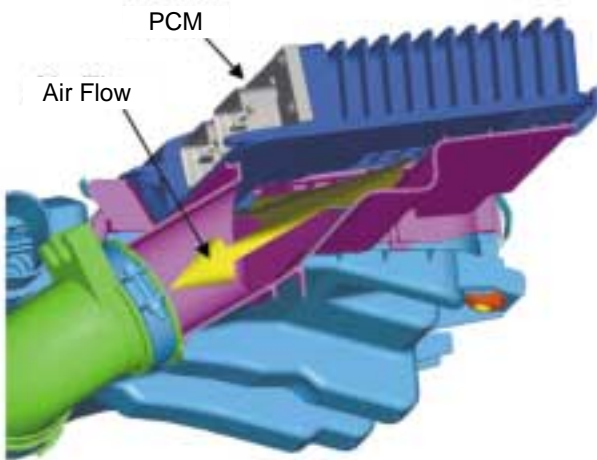


Fig.4 Structure for Cooling PCM

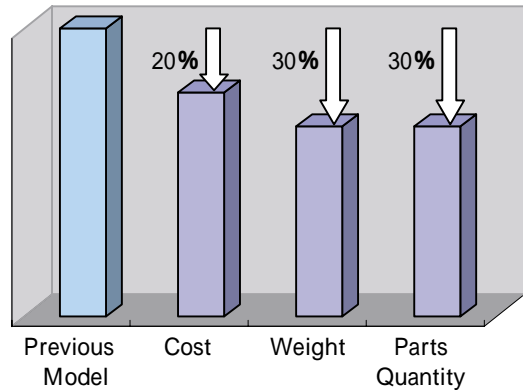


Fig.6 Effect of IAFEM

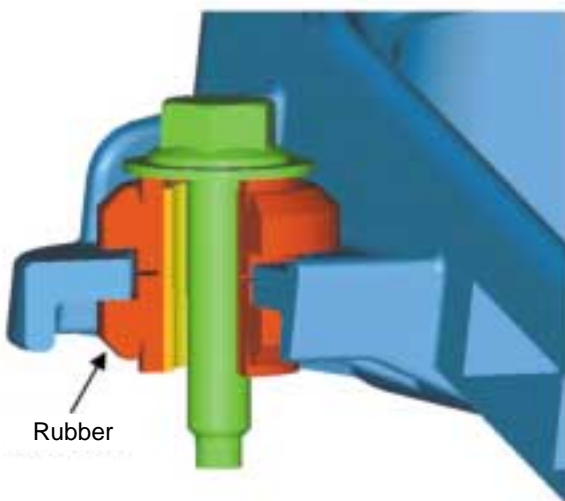


Fig.5 Floating Mount Structure



Fig.7 Engine Room

4 . 性能向上

4.1 出力・エミッション向上

(1) 出力向上

エアクリーナの通気抵抗は、ファミリアクラスへの搭載を考慮して、Bカー&Cカークラスでベンチマークを実施し、BIC（ベストインクラス）性能を目標とした（Fig.8）。

エアクリーナはエンジン搭載により扁平形状となったが、CAEを駆使し流速調整・形状の最適化を行い目標の通気抵抗を達成した。

通気抵抗の低減改善の一例として、Fig.9に示す形状の改善を実施し、エアクリーナ内の流速を均一化した結果を示す。

インテークマニホールドは、排気量1.3L向けには600mmの等長管、排気量1.5L向けには、可変慣性過給システムであるVIS（Variable Induction System）を内蔵し600mmおよび450mmの等長管を切り替えることにより低回転からの広い回転域で最大トルクの90%を発生させており、実用域での大幅なトルクアップを果たした（Fig.10）。

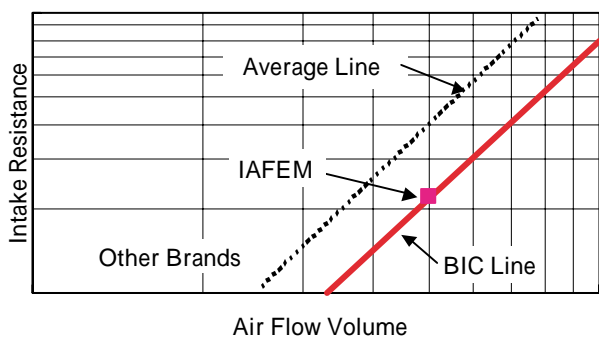


Fig.8 Air Flow Resistance

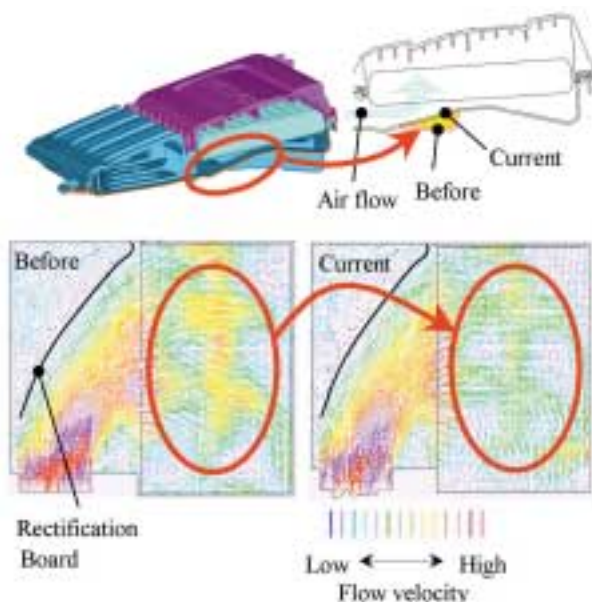


Fig.9 Reduction of Intake Resistance

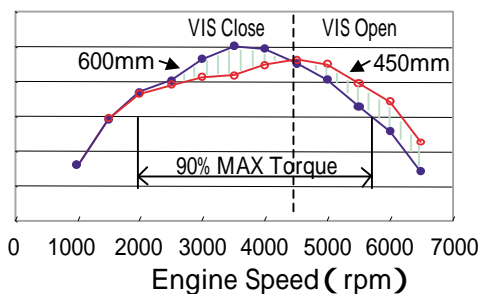
樹脂製インテークマニホールドへのVIS内蔵の構造をFig.11に示す。

バルブ一体の軸部とガイドブッシュと呼ばれる軸受け部は、同材質の樹脂で作られている。この樹脂同士の組合せでは、一般的にPV値より、摩擦による表面磨耗が進みやすく、ガラス繊維が表面化すると更に磨耗が加速する。この対応として、異材質である金属材料とナイロンとの組合せが、PV値より、耐磨耗性に効果があるため、アルミ材を軸受けとした。この際、固定端であるギア部の他端にあたる部分の振れが最も大きくなり磨耗が進行するため、この部分にアルミカラーを設定した。更に、振れによる衝撃エネルギーを吸収するため、ラバーマウントにしている。

これらの技術により、Fig.12のトルクカーブを実現し、他社比BICとしている。



(a)VIS Action



(b)Torque Curve

Fig.10 Effect of Torque by VIS

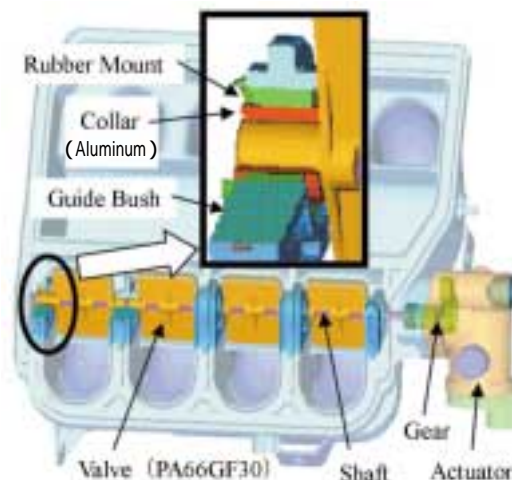


Fig.11 VIS Structure

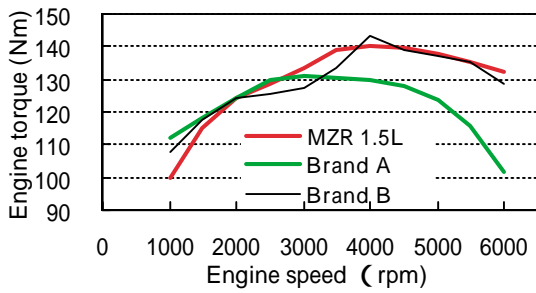


Fig.12 1.5L Engine Performance

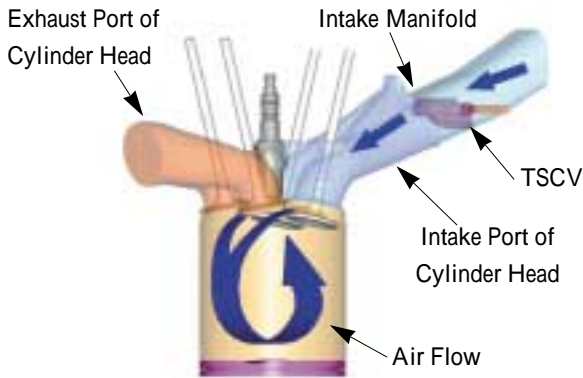


Fig.13 TSCV

(2) エミッション向上

冷間での排気ガス浄化性能を向上させるため、インテークマニホールドにTSCV (Tumble Swirl Control Valve) を内蔵している。

冷間時のエンジン始動の際には、TSCVを閉じ、燃焼室内のタンブル流 (縦渦) を強く発生させ、点火進角リタード時の燃焼改善を図っている (Fig.13)。この結果、11モード始動時に、点火進角のリタードが可能となり、排気ガス温度がアップして触媒の早期活性化を図り、コールド領域の浄化効率を向上させることで、エミッションの改善を実現している。

4.2 NVH改善

(1) 吸気源音低減

MZR 1.3/1.5エンジンは、前モデルに対しトルクアップしており、これにより増加した吸気源音については、フレッシュエアダクト径、レゾナンスチャンバの最適化、エアクリーナ容量を確保することで低減を図った。

吸気源音の改善データとして、2次で8dB(A)低減、4次で15dB(A)低減した結果をFig.14に示す。

モジュール化されたエアクリーナは、エンジン直上搭載でレイアウトスペースが少なく、容量拡大が困難である。そのため、音圧分布の測定・シミュレーションにより、フレッシュエアダクト長さ・内径とレゾナンスチャンバを最適化し、低減を図った。

(2) 高周波騒音低減

エアクリーナ表面の球面デザイン形状により、基本面の面剛性を確保することで、高周波騒音低減を図った。更に、

エアクリーナをエンジン直上に搭載することにより、エンジン本体からの高周波騒音低減に寄与している (Fig.15)。

検討時にはCAEを用い、面の振れモード (変位) の可視化を行い、低剛性部位を割り出し、リップ形状の最適化による面剛性の確保を図った。このCAE結果を、実機での振れモード解析と比較することで、妥当性確認を行い、机上検証の精度を上げた (Fig.16)。更に、モーダル解析による共振周波数の数値化により、低減効果の確認を行った。

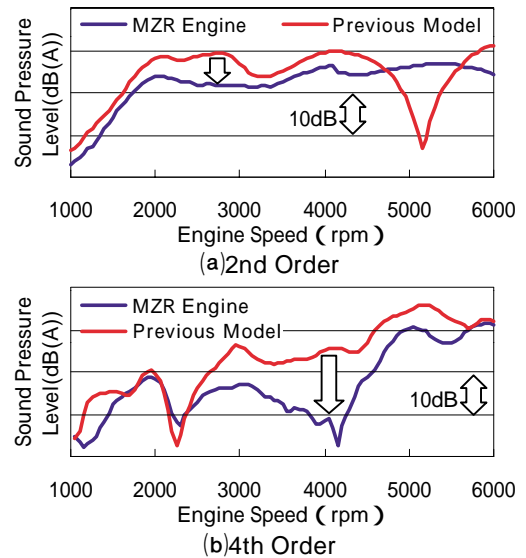


Fig.14 Intake Noise

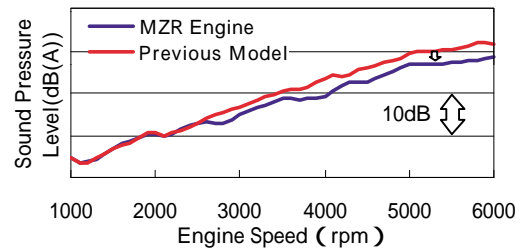
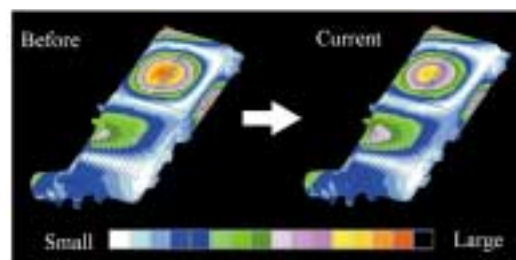
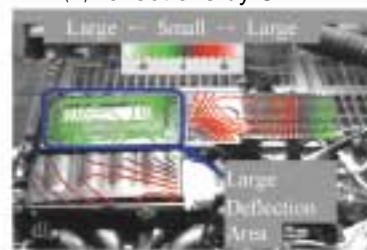


Fig.15 High Frequency Noise



(a) Deflections by CAE



(b) Deflections by Actual Engine

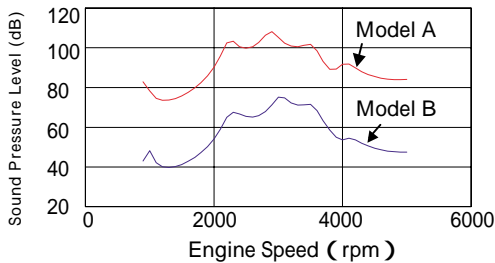
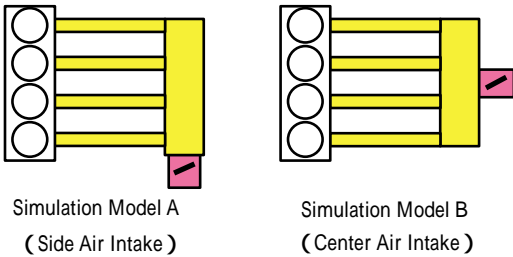
Fig.16 Surface Stiffness Analysis with Actual Engine

(3) 音質の向上

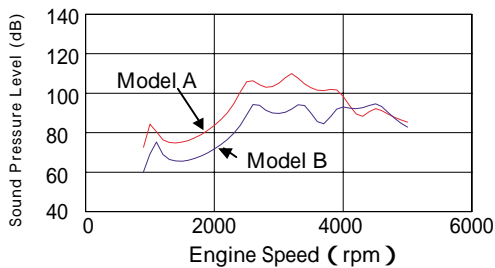
インテークマニホールドに等長吸気管を採用することにより、奇数次数およびハーフ次数の音圧を低減することでランプリングノイズを低減し、音質を改善している。

サイド吸気による不等長吸気との差についてシミュレーション結果をFig.17に示す。

奇数次数で30dB、ハーフ次数では10dBほど、音圧レベルが改善される。



(a)Odd Number Degree



(b)Half Degree

Fig.17 Result of Rumbling Noise Simulation

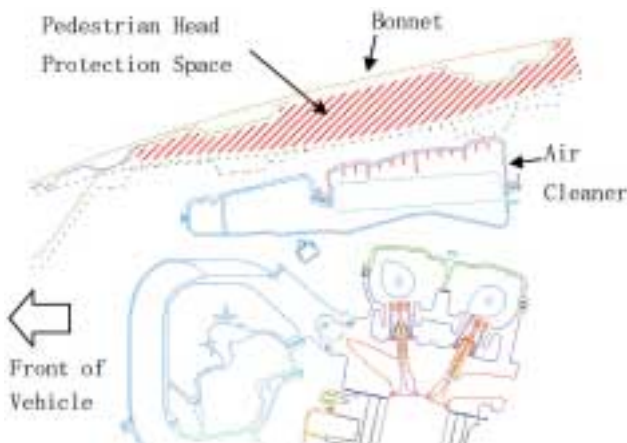


Fig.18 Layout for Pedestrian Protection

4.3 衝突安全性向上

(1) 歩行者保護構造

エアクリーナ部レイアウトにおいて、要求ボリュームと吸気通路を確保しながら、エアクリーナ上面とボンネット間の歩行者頭部衝撃緩和スペースのレイアウトを成立させた (Fig.18)。

(2) 燃料系保護構造

車両前方に吸気系を配置した前方吸気レイアウトにおいては、前面衝突時の燃料系保護のためのレイアウトへの配慮が重要となる。

この対応として、剛性の高いスロットルボデーの取り付け付近を一体成型することにより高剛性な構造とし、このスロットルボデー付近と高剛性のオルタネータでシュラウドの進入を防ぎ、また、衝突時、インテークマニホールドが効果的に衝撃を吸収するよう、形状を最適化し燃料系を保護している。

5 . おわりに

世界的に自動車部品のモジュール化が進められる中で、マツダとして初めてのエンジン部品による機能統合モジュール化を世界トップレベルの技術で実現できた。

本開発にご協力いただいたお取引先様はじめ関係各位にお礼を申し上げます。

著者



松浦浩治



横倉恒利



西田智宣



山田秀樹



江角圭太郎

特集：新型デミオ

24

MZR 1.3/1.5 シリンダブロック加工ラインの紹介

MZR 1.3/1.5 Cylinder Block Machining Line

鳥居 元*¹ 山下 貢丸*² 平井 泰史*³

Hajime Torii Tsugumaru Yamashita Yasushi Hirai

山田 義弘*⁴

Yoshihiro Yamada

要約

エンジン部品加工領域においては、より一層の高精度な加工技術（高品位加工）とともに、省エネルギーで廃棄物を出さない環境にやさしい工法の開発が求められている。

新型デミオに搭載されたMZR 1.3/1.5 エンジンでは、シリンダブロック加工ライン新設に当たり、これらの要求に応えるため、多くの当社独自の新技术/システムを開発し導入した。

本稿では、①シリンダボアの仕上げ加工に採用した高精度な加工技術であるボア高品位加工の事例、②シリンダブロックの加工に採用した環境にやさしい工法であるクーラントレス加工の事例を紹介する。

Summary

Engine parts machining process requires environmentally-friendly technologies with energy saving and no wastes, as well as high-precision machining.

In constructing a new cylinder block machining line for MZR 1.3/1.5 engine mounted on New Demio, Mazda has developed and adopted a number of new technologies and systems of our own to improve machining accuracy and achieve an environmentally-friendly process.

This paper introduces ①A new process for enabling much higher accuracy in cylinder bore finishing, ②Ecological coolant-less machining, that results in reducing significant machining energy and wastes.

1. はじめに

近年、自動車エンジンの高性能化により、加工領域においてもこれに対応するためにより一層の高精度な加工技術が求められている。

また、社会の環境問題への関心の高まりから、省エネルギーで廃棄物を出さない、環境にやさしい工法の開発も求められている。

マツダでは、新型デミオに搭載されたMZR 1.3/1.5 エンジンのシリンダブロック加工ラインを新設するに当たり、生産性やコストを考慮した上で、これらの要求に応えるため、多くの当社独自の新技术/システムを開発し導入した。

本稿ではその事例として、以下について紹介する。

- ① シリンダボアの高品位加工
- ② クーラントレス加工

2. シリンダボアの高品位加工への取り組み⁽¹⁾

2.1 ボアの高品位加工⁽²⁾

エンジンの高出力化、低燃費、低エミッションへの要求が高まる中、加工領域において、高精度が得られる高品位加工が求められている。特にシリンダブロックのシリンダボア (Fig.1) は、Table 1に示すように、加工精度とエンジン性能が密接に関係している加工部位であり、これまで以上の加工精度が要求されている。

そこで、MZR 1.3/1.5 シリンダブロック加工ラインでは、これらの要求を満足しつつ、生産性も向上できるボアの高品位加工へ取り組んだ。

* 1 ~ 3 パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

* 4 第1工務技術部
Workshop Engineering Dept. No.1



Fig.1 Cylinder Bore Bore

Table 1 Relationship between Engine Performance and Quality

Engine Performance	Aim	Cylinder Bore Accuracy	Evaluate Items	Effect
Fuel-Efficient	Reduce Friction	Improve Accuracy	Diameter, Cylinder, Cylinder	Reducing Piston-ring Clearance Reducing Piston-ring Tension
Low-Emission	Reduce Oil Consumption	Improve Roughness	Rvk, Mr2	Reduce Oil Retention Volume
Seisure Resistance	Stability of Lubrication	Improve Roughness	Rvk, Mr2	Keep Oil Retention Volume
		Reduce Plastic Flow	Surface, Cross Section	Keep Lubrication by Carbon

Table 2 Matrix for Improving Accuracy

Bore Diameter						
Form						
Roughness						
Surface						
Bore Accuracy	Factor					
Concept of High Accuracy Machining		Work	Allowance	Tool	Machining Heat	Dimensional Detection
Improving of Stiffness						
No-deformation						
Constant Machining Condition						

Table 3 Issues in High Accuracy Machining

Issues	Subject
Zero Work Deformation	Work Deformation Analysis
Constant Allowance	Control Allowance
Minimum Allowance	Minimum Allowance
Higher Tool Rigidity	Tool Deformation Analysis
Machining Heat Reduction	Machining Thermal Analysis
Control Temperature	Machining Thermal Analysis
Constant Dimension Detection	Precise Dimension Detection
Constant Cutting Performance	Cutting Performance Control

2.2 ボア高品位加工の課題

まず、ボアの高品位加工を行う上での課題を抽出した。Table 2は高品位加工を達成する上での基本的な考え方と、ボア加工の関連因子を展開し、ボア加工の品質特性とを関連づけたマトリックスである。次に、Table 3は開発及び検証が必要な具体的技術課題リストである。

これら全ての技術課題を解決し、加工ラインへ導入した。

2.3 取り代の一定化~ボアフィニッシャの開発

ボア加工精度を確保する上で、ホーニング仕上げ工程でいかに取り代(加工代)を少なく、かつ安定させるかが重要である。そのためには、前段階であるボーリング工程での加工径・形状精度の安定化がキーとなる。従来はボーリ

ングとホーニング工程は別々の設備で構成されており、品質を満足させるためには本来重要視されるべき加工径・形状の相互の情報交換が必要であった。

この問題を解決するため、今回は上記2工程を統合した「ボアフィニッシャ」を開発した(Fig.2)

このボアフィニッシャの加工プロセスをFig.3に示す。ボーリング加工後の径・円筒形状をアフターゲージで自動計測し、その結果を荒ホーニングにフィードフォワードする。またボーリング加工へは径の結果をフィードバックし径が一定となるよう自動補正をする。一方、荒ホーニングでは測定結果に基づいて、Fig.4に示すようにNCストローク制御にてストロークパターンを変化させ円筒度を積極的に修正する。

この連携したシステムの結果、ホーニング仕上げ前の取り代が均一化され、円筒度が30%向上するなど安定したボア加工精度を実現した。

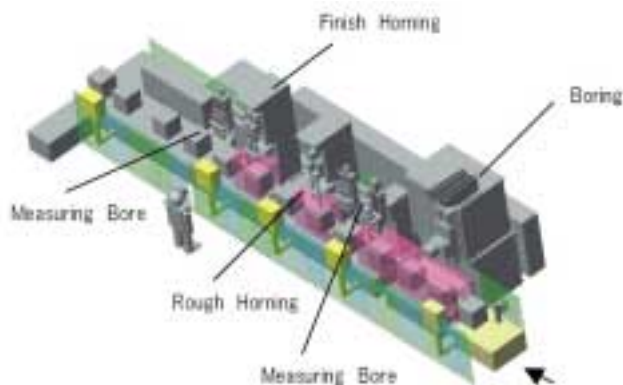


Fig.2 Bore Finisher

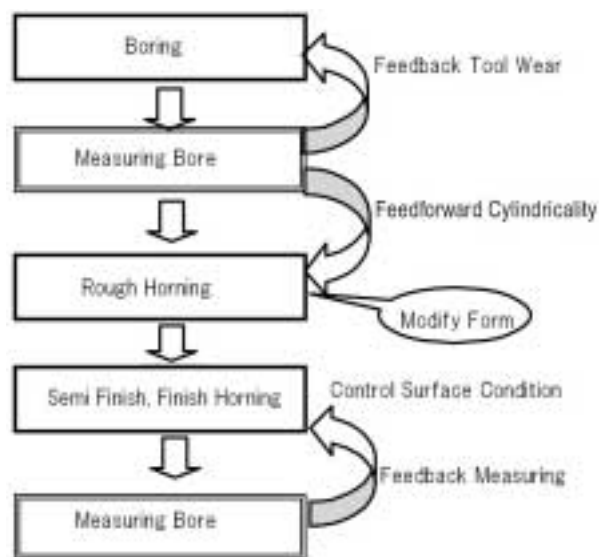


Fig.3 Machining Process of Bore Finisher

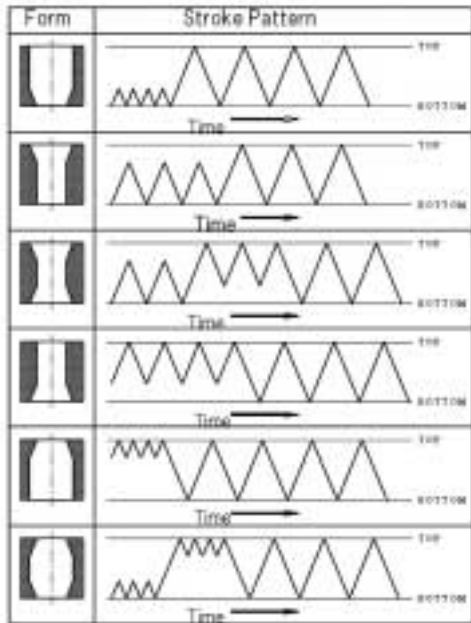


Fig.4 Stroke Pattern

2.4 取り代の微少化～砥石ダブル拡張の開発

仕上げホーニングでは、ボア径・形状精度の確保のみならずボア表面粗さの造り込みが要求される。これはエンジン性能を左右する重要な要素である。

表面性状の管理はFig.5に示すように、ボア粗さの負荷曲線（BAC）があり、このうち油溜まり深さ（Rvk）はオイル消費量と密接に関係がある。このRvkを安定してより精密に造り込むには、仕上げホーニングの取り代を微少化しなければならない。そこで従来の、荒/仕上げホーニングの加工から、油溜まり量を安定させる3ステージ加工を採用することとした（Fig.6）

3ステージ加工とするために、仕上げホーニングの刃具へ従来の仕上げ砥石と3ステージ目の砥石を組み入れたFig.7のダブル拡張方式を開発した。その結果、従来の仕上げ砥石の加工中心と3ステージ目の加工中心が一致することで取り代の微少化が可能となり、ボア表面粗さの向上とオイル消費量削減などのエンジン性能向上に寄与している。

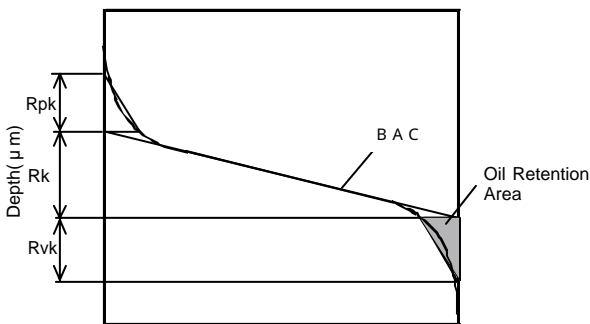


Fig.5 Relationship Between Bearing Area Curve (BAC) and Oil Retention Volume

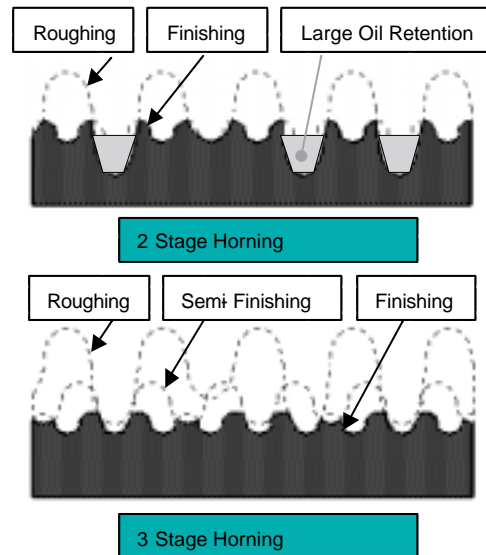


Fig.6 Image of Magnified Machining Surface

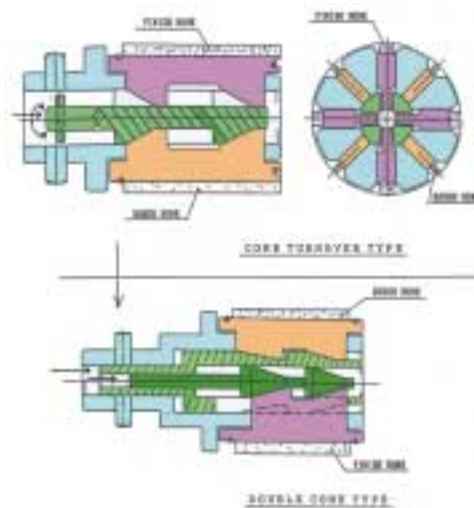


Fig.7 Hone Double Extension

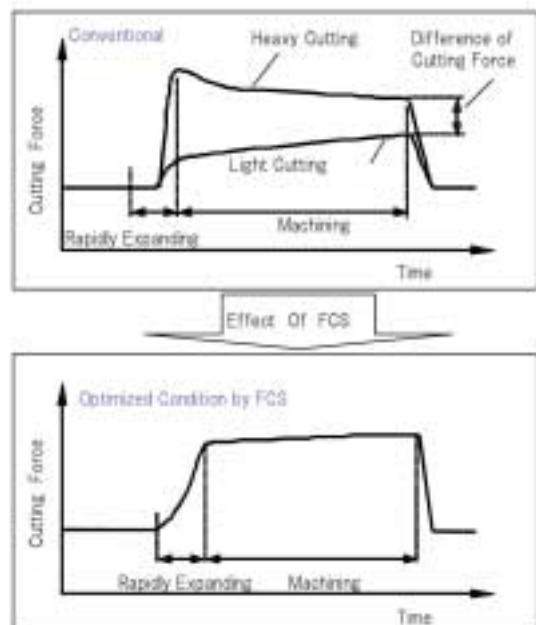


Fig.8 Effect of FCS

2.5 切れ味の一定化～切り込み制御「FCS」の開発

次に、切れ味の一定化であるが、ホーニング加工は一般に砥石拡張ロッド等の切り込み伝達系のたわみにより、砥石がボア内面に切り込む際の加工面圧が不安定になる「かつぎ」と呼ばれる現象が起きる。そこで、理想の加工面圧と実際の切り込み力の差やバラツキをなくし、狙いのボア精度や表面性状を得ることが必要である。

このために、「FCS」(Force Control System)と呼ぶ切り込み制御技術を開発・導入した。Fig.8にその効果、Fig.9にその概要を示す。

FCSは圧電センサーを用いて、切り込み力をリアルタイムで監視し、切り込み速度をコントロールする。それによって切り込み力の変動を抑えながら、目詰まりのない安定した加工が可能となった。その効果は次の2点である。

① 表面性状の安定化

Fig.10にボアの断面拡大図を示す。前述したように油溜まり量を低減すると、必然的にオイル消費量は削減されるものの潤滑機能の低下が懸念され、今度は耐焼き付き性の確保が必要となる。このためボアの表面性状で特に潤滑機能を持つ黒鉛の状態が重要である。一般に切り込み力が大きくなるとボア表面での金属組織が押し潰され、黒鉛にかぶさるなどの「塑性流動」と呼ばれる現象が起きる。そこで、FCSを用いて理想の加工面圧にコントロールすること

で塑性流動を最小限に抑えて潤滑機能を維持しボアの耐焼き付き性を向上した。

② ボア径精度の安定化

Fig.11にFCSを用いた場合と用いない場合のボア径精度のバラツキを示す。FCSによる加工安定化は、仕上げ寸法の高精度化に大きく寄与し、新たに開発した加工中にインプロセスでボア径を測定できる定寸装置との組み合わせで、バラツキを約6割に抑えることができた。

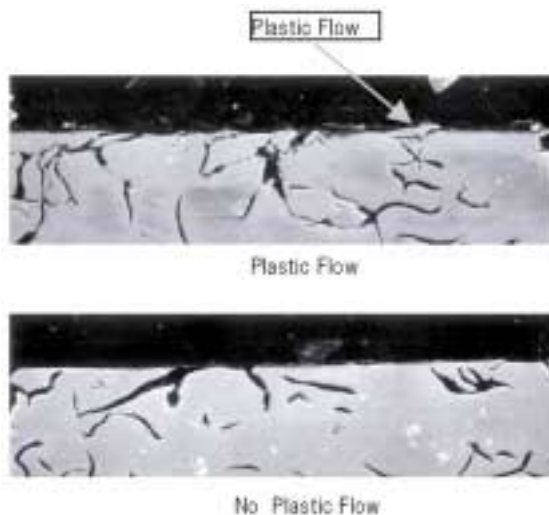


Fig.10 Cross Section of Bore

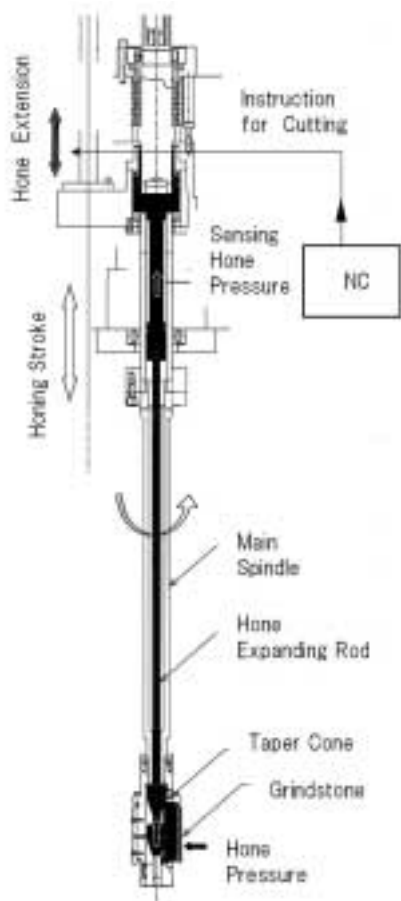


Fig.9 FCS

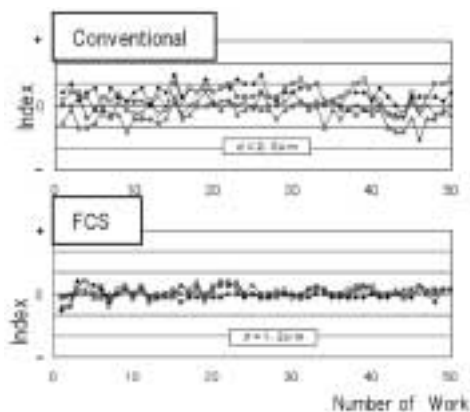


Fig.11 Measured Bore Diameter



Fig.12 Numbering

2.6 全数トレーサビリティシステム

高品位加工を行う上で、より精密な品質の造り込みとともにその品質を確実に保証するシステムも重要である。

同加工ラインはFig.12に示すように、ブロックに直接番号を刻印し、自動計測工程と番号読み取り装置を併用させ、品質データをネットワークを介して収集し、番号と対比した形で、品質データを保存するシステムを導入した。これにより、いつでも履歴データを活用でき、品質情報としてのフィードバックを可能にした。

2.7 ポア高品位加工の成果

技術課題の解決によりポア加工における径、形状精度(円筒度・真円度)、油溜まり深さ(Rvk)、表面性状を飛躍的に向上させることができた。

更に、以下の効果を得ることができた。

- ① ポア径精度向上によるポアランク分け測定・刻印工程の廃止(1ランク化)及び、組み立てラインでのランク別ピストン選択作業と仕掛かり削減を達成。
- ② ポアフィニッシャ開発による工程統合でエネルギーコスト50%を削減。

3. クーラントレス加工への取り組み

従来、機械加工ラインでは、様々な用途で大量の切削液(クーラント)が使われてきた。しかし、環境面においては、クーラントを循環させるために大量の電力を消費していること(Fig.13)、劣化後は廃棄物として処理されること(Fig.14)、クーラントには塩素やリンなどの有害物質が含まれることから、環境への負荷が大きいという問題がある。そのため、これを使わないようにするクーラントレス加工に取り組んだ。

クーラントには、潤滑、冷却、切り屑処理の3つの機能があり、クーラントレス化によって、これらの機能がなくなることにより、品質や稼働に悪影響を与える。そこで、クーラントレス加工を目指す上での課題を、その機能からFig.15のように考え、低コスト・低投資で解決するようにTable 4に示す技術課題に展開した。

これら6つの技術課題に対し、それぞれ対策を立案し、実際のラインの設備、ツーリングに織り込んだ。

3.1 クーラントレス精度保証設備構造

対象とするシリンダブロックはアルミ製である。従って、鉄系の材質で造られた治具との間には熱膨張率の差があり、高い位置精度が要求される工程では雰囲気温度が設定温度より外れると、加工位置精度が悪化する(Fig.16)。従来は温度変化によるワークと治具の伸縮差による精度不良を防ぐために、温度調整したクーラントを使用していた。

今回、このような工程でのクーラントレス化による冷却機能の代替として、ワークの熱変位に追従する治具を開発した。

本取り組みでは、①治具の熱膨張率をワークに合わせる

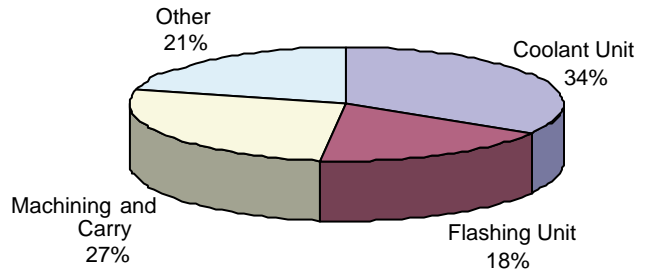


Fig.13 Energy (Power)

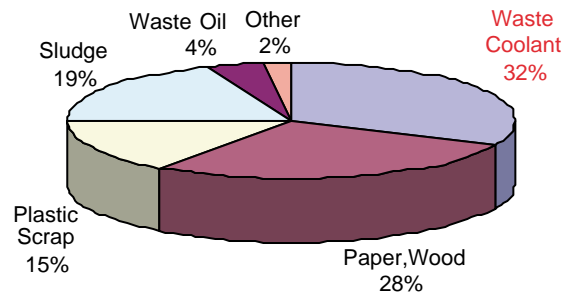


Fig.14 Waste

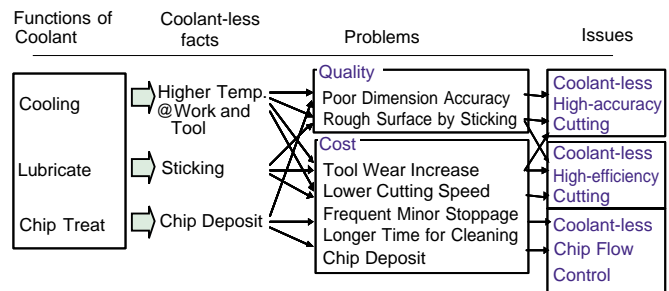


Fig.15 Issues in Coolant-less Machining

Table 4 Technical Issues

High-accuracy Cutting	High-efficiency Cutting	Chip Treatment	Low-cost, Low-investment	Issues in Coolant-less Machining
				Coolant-less Technical Issues
				Facility Structure to Assure Higher Accuracy
				Low-cost/Low Volume Lubrication to Tools
				Optimum Tooling Conditions
				Low-cost Cooling to Tools
				Chip Deposit Prevention
				Low-cost Chip Collection

ための治具のアルミ化, ②治具の熱変位方向をワークに合わせるための「3D熱変位解析」による治具形状決定, ③主軸を治具・ワークの熱変位に追従させるフローティング機構の採用, を行った。

本治具をFig.17に示すクランク, ノック穴仕上げ工程に導入したが, 従来のクーラント温度調節を用いた工程にも増して, 高い寸法精度を確保している。

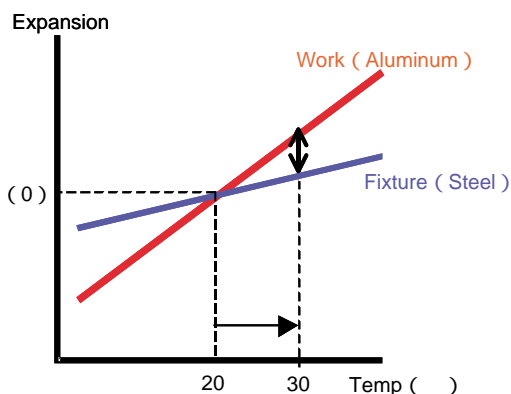


Fig.16 Thermal Expansion Gap Between Work and Fixture



Fig.17 Aluminum Fixture

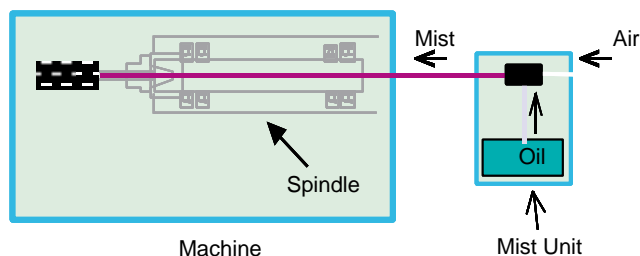


Fig.18 MQL Machining System

3.2 低コスト刃先潤滑技術

クーラントの刃先潤滑機能がなくなることにより, 品質不良や工具寿命の低下が問題となる。そのため, 潤滑機能の代替として, Fig.18に示す微量のオイルをエアにより霧にして刃先に供給するMQL加工 (Minimum Quantity Lubricant) 技術を導入した。

今回, Table 5に示すように, 低コストなMQL加工を導入する上での問題点に対する対策を加工ラインへ導入した。その具体事例として, オイルの再利用について述べる。

Table 5 Issues in Low-cost MQL Machining

Issues	Countermeasures
Liquefaction in Spindle and Pipe	Uniform Pipe Dia in Spindle Design Piping to Large Curvature in Bending Point Design Piping to Center in Spindle
Waste Oil	Oil Recycle
Reduce Oil Cost	Develop Low Cost Oil
Reduce Introduction cost	Trial by Mazda

MQL加工では噴霧されたオイルは切粉やマシンに散逸するが, 回収 再利用することで資源を節約しコストを削減することを目指した。

本システムでは, オイル回収時に潤滑油等が混入することを考慮し 加工機内で洗浄液に混じったオイルを分離機, フィルタで抽出し, これを再利用するようにした。

オイルは, 切削油, 潤滑油として使用できるもの (MFF: Multi Function Fluid) を油脂メーカーと共同で開発した。また, このオイルは生分解性の機能を有しており, 環境へも配慮している。

3.3 ツーリング (刃具・切削条件) 最適化

MQL加工の基礎テストの段階で, 切り屑が工具の溝に付着する溶着により (Fig.19), ドリルが折損する問題があった。溶着が起こると, 刃先に付着した被削材により工具の切れ味が低下し, 切削負荷上昇や変動により工具折損に至ることから, 工具の切れ味を改善することにより溶着が防止できると考え, 品質工学手法で, その最適化に取り組んだ。

品質工学実験では, 工具の切れ味が良い状態であれば加工に要するエネルギーが小さく安定し, その結果, 品質が安定し能率も高くなることが分かった。そこで, 工具の切れ味をエネルギーで捉えるために, 加工に使われる電力量と切削で除去されるワークの重量 (切削重量) の比例性を基本機能として, その安定性を評価した³⁾。

実験の結果, 電力の安定化に, 送りや工具形状が効くことが分かり, これらを最適化することにより電力が安定し, 溶着による工具の折損がなく加工できる条件を見出した。



Fig.19 Welding Deposit

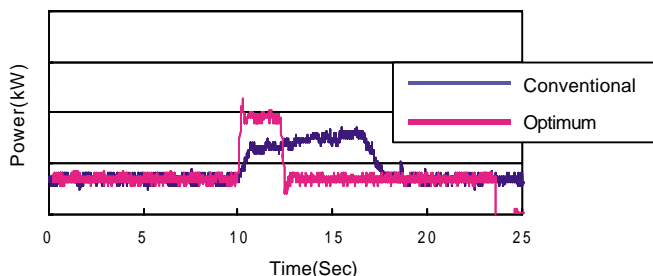


Fig.20 Electric Energy



Fig.21 Developed Fixture

Fig.20に実験での電力波形を示すが、初期条件では溶着により加工開始とともに電力波形が上昇しているが、最適条件では安定に推移しており、加工に要するエネルギー（電力量）も46%減少している。

3.4 刃先冷却技術

アルミの加工では、融点が低いことと熱伝導率が高いことから、もともと、切削中の刃先温度はあまり高くない。その上、安定して速く削れる条件では、切削の際に生じる熱はほとんど切り屑によって持ち去られてしまう。よって、刃先冷却については特別な代替策を講ずる必要はないと判断した。

3.5 切り屑堆積防止技術

今回採用した治具では、Fig.21のように、①フラット部を徹底排除、②治具の傾斜は60度以上とすること、③治具直下に大きな開口部を配置し切り屑が直接トラフに落ちや

すくする構造にした。これらにより、設備内に残る切り屑量は従来の1/30となった。

また、上記の対策により治具剛性の低下が生じ加工精度が悪化することが懸念されたが、3Dデータに基づいた治具設計 剛性解析を行い、加工精度に影響のない治具形状を実現した。

3.6 切り屑の回収

設備内に残った切り屑の除去及び切り屑の回収については、低コスト・低投資を目指すために、Fig.22に示すように、従来の手法である液体による切粉回収方法と、代替手段である、吸引、エアブローについて、切粉回収にかかるエネルギーコストを比較したが、液体による切粉回収が最も効率的であると判断した。そのため、切り屑の回収は液体で行うこととし、使用する液体には機械の防錆性を考慮して、切削液に比べ低コストである洗浄液を採用した。

また、ポンプ動力最小化のために、間欠式フラッシング（ICFシステム：Intermittent Chip Flush away System）を導入した。

従来は最大吐出量に合わせたポンプ動力が必要であったが、今回のシステムでは加工はMQLで行うため、常にクーラントを流す必要がない。そのため、Fig.23のようにマシン上部に受水槽を設け、そこに少量ずつ供給し、必要時に一気に放出することで吐出側での切粉処理能力を満足する流量を確保した。これにより、タンク、配管を小型化でき、ポンプ動力は従来の1/4となった。

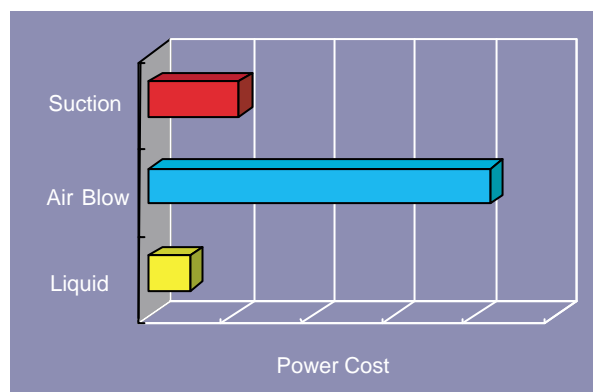


Fig.22 Energy for Chip Control per NC Machine

3.7 成果

MQL加工, オイルのリサイクルシステム, 切り屑堆積対策治具, 洗浄液を使ったICFシステムを組み合わせた当社独自のセミドライ加工システムを構築し, 同加工ラインのほぼ全工程(シリンダボアの仕上げボーリングおよび研磨(ホーニング)工程は除く)に導入し, 切削液の使用量を従来工法から84%削減した。

その結果,

- ・省エネルギー: 切削液の循環ポンプ動力を75%削減。
- ・廃棄物削減: 切削液廃棄時の焼却処理量を80%削減。

により, 環境への負荷を大幅に軽減することができた。



Fig.23 ICF System

著者



鳥居 元



山下貢丸



平井泰史



山田義弘

4 . おわりに

今後とも高品位加工, 環境にやさしい生産ラインの構築のため, 努力を続ける決意である。

最後に, お取引先様をはじめ関係部門各位に対し, ここに厚く謝意を表します。

参考文献

- (1) 藤村 他: シリンダーブロックボアの高品位加工, 「機械と工具」(工業調査会), Vol.46, 10, p.20-24 (2002)
- (2) 宮中 他: New I4エンジン工場の紹介, マツダ技報, No.20, p.86-96 (2002)
- (3) 中西 他: ドライ加工技術の実用化, 品質工学, Vol.10, p.53-59 (2002)

論文・解説

25

コンパティビリティ性能の車両構造解析 Vehicle Structure Analysis of Compatibility Performance

福島正信*¹ 藤井真司*² 安部晶子*³ 尾川茂*⁴
 Masanobu Fukushima Shinji Fujii Akiko Abe Shigeru Ogawa
 藤田英治*⁵ 砂川孝之*⁶ 田中由起子*⁷
 Hideharu Fujita Takayuki Sunakawa Yukiko Tanaka

要約

市場における車対車の事故による死傷者を低減するためには、正面衝突・側面衝突などのさまざまな衝突形態に加えて、大型車や小型車などの車格差がある場合に、衝突時の生存空間をどう確保するかが重要な課題である。これを解決するためには重量や車体剛性の他に、サイドメンバ高さの違いなどのジオメトリを考慮した車体構造の開発が必要となる。本研究では、ペリメータフレームのある車両とペリメータフレームのないサスクロスタイプの車両の前面衝突で、サイドメンバ高さを変化させたパラメータスタディにより、コンパティビリティ性能をCAE解析で比較検討した。車体変形の発生メカニズムを車両のエネルギー吸収量と荷重伝達経路から解析的に明らかにした結果、ペリメータフレーム構造は車体変形が小さく、サイドメンバ高さの違いによる影響も受け難く自車の保護性能を確保するうえで有利な構造であることがわかった。

Summary

The key to reduce casualties in the real-world vehicle-to-vehicle crashes is to secure sufficient occupant survival space. The survival space should constantly be secured regardless of vehicle size differences and crash mode differences such as full frontal crash and side crash, etc. To realize this, vehicle structure should be developed in due consideration of geometry such as side member height differences, in addition to weight and stiffness differences. A parametric study with respect to side member height differences was conducted by CAE to evaluate frontal crash compatibility performance when a vehicle with a perimeter frame collides with a suspension cross member type, that is, a normal type without a perimeter frame. A vehicle deformation mechanism has been clarified analytically on the basis of vehicle energy absorption amount and load path. The result shows that perimeter frame structure is superior to the normal type in self-protection performance from the viewpoint of small body deformation and less influence by a side member height difference.

1. はじめに

市場の車対車衝突事故による死傷者を低減するには、衝突時における自車の保護性を高めるとともに相手車両への加害性を低減することが重要となる。この両者を満足することをコンパティビリティと言い、Fig.1に示すような市場のあらゆる車対車衝突事故における死傷者数の低減には、コンパティビリティ性能が高い車の開発が必要である。この背景となる市場事故のうち、米国ではミニバンや

SUVなどの車高が高いLTV (Light Truck and Van) 系の車の保有率が40%にせまり、LTVが関与した車対車衝突の死亡事故は全体の70%近くを占めており、このうちLTV対乗用車の前面衝突事故での死亡者数は、乗用車側がLTVの3から6倍にも達している¹⁾。このため米国ではLTVの加害性低減が課題となっている。また、日本では1998年から2000年の交通事故総合分析センターの衝突部位別乗員死傷台数情報を分析すると乗用車の車対車前面衝突が衝突方向別死亡割合の68%を占めている。LTVの保有率は米国より

* 1 ~ 4 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

* 5 ~ 7 CAE部
CAE Dept.

少なく18%程度であることから、日本では乗用車同士の車対車衝突において軽を含む小型乗用車の保護性能向上が重要といえる²⁾。

コンパティビリティ性能の向上には、両車の客室生存空間を保てるように衝突エネルギーを両車で分担し合うことが重要である。一方、コンパティビリティ性能を左右する要素に、①バンパーやサイドメンバの相互位置関係を示すジオメトリ、②車体の剛性、③衝突時の総エネルギーを決める重量があり、これらの要素について相手車両を考慮して改善することが必要である。

乗用車同士の衝突では、バンパーやサイドメンバ高さがほぼ同じであるため剛性が重要な要素となる。一方LTVと乗用車の衝突では、LTVは乗用車よりサイドメンバ位置が高いため、いわゆる乗用車の潜り込み現象を発生させる。したがって、これを防止するにはジオメトリ差をなくすことが最優先課題となる。

本報告では、このジオメトリの課題に対応するため、荷重伝達経路（以下ロードパス）数が増加するペリメータフレーム（以下ペリメータ）構造に着目し、サイドメンバ高さが異なる車対車衝突の内、ペリメータのない車（以下ノーマル車）がペリメータのある車（以下ペリメータ車）に潜り込む場合についてペリメータの効果もCAEで検討した。

2. コンパティビリティ性能改善の考え方

法規やNCAP（New Car Assessment Program）で採用されている現行の衝突試験法は自車の保護性能の向上を主目的としており、フルラップ前突は同一車同士、オフセット前突は衝突する相手車を小型乗用車と想定し、Fig.2に示す形態で実施している。これらの試験により前突性能は近年飛躍的に向上したが、市場事故全体では、Fig.1に示したように多様な車両同士が衝突するため、従来の試験方法だけではコンパティビリティ性能を評価し改善することは難しい。

コンパティビリティ性能向上の目的である乗員の死亡重

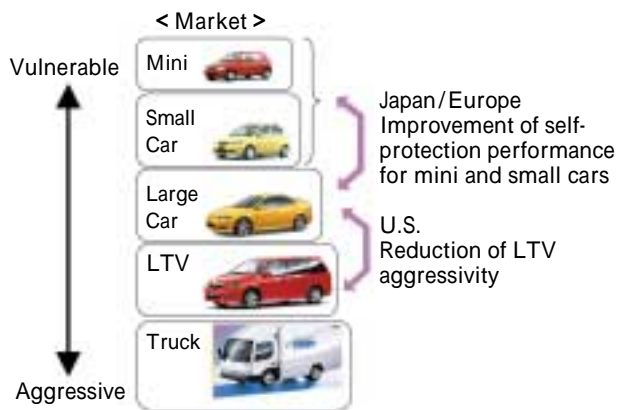


Fig.1 Ideal Safety in the Market

傷者を低減するには、ステアリングなど車室内部品と乗員の強干渉を防ぐために生存空間を確保することが重要なポイントである。一般的に小さな車は剛性が低く、客室が変形するまでのクラッシュストロークも短い。その結果、大きな車と小さな車の衝突時には、剛性の低い小さな車の客室が変形しやすい傾向にある（Fig.3）。

そこで、小さな車の生存空間を確保するには、小さい車の剛性を高めて、大きな車のエネルギー吸収分担を増やすことで小さな車の車体変形を減少させる必要がある（Fig.4）。

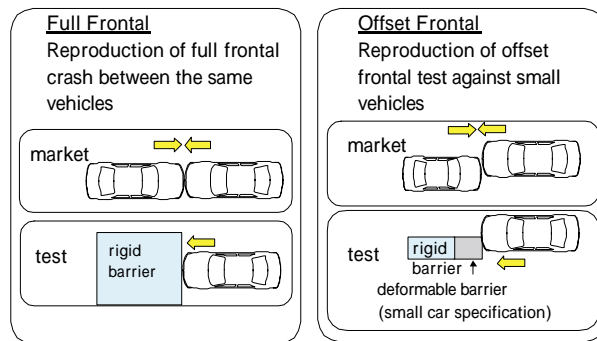


Fig.2 Current Test Method

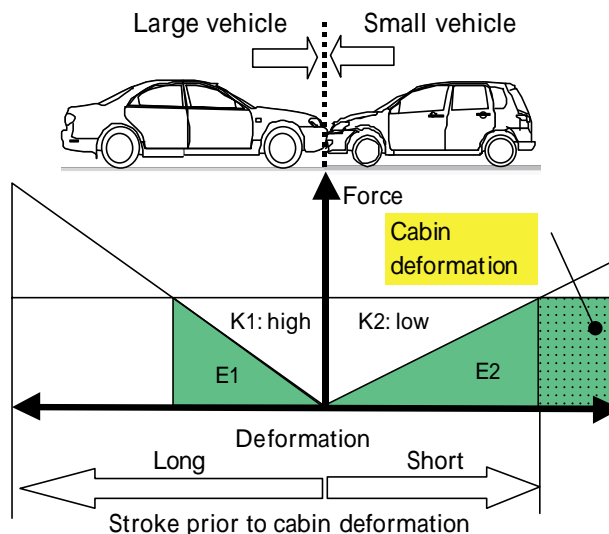


Fig.3 General Vehicle-to-Vehicle Collision

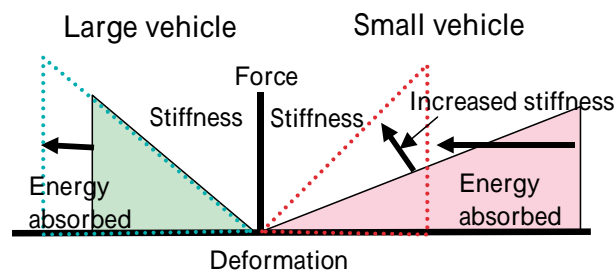


Fig.4 Cabin Protection Concept in Compatibility

ところが、前述のようにコンパティビリティ性能を左右する要因として①ジオメトリ、②剛性、③重量の三つがあげられるが、このうちジオメトリがコンパティビリティ性能を安定させる上で一番重要であると考えられる。この理由は、両車のバンパーやサイドメンバ高さが異なると低い車の潜り込みや高い車の乗り上げ現象が起こり、サイドメンバが狙い通りの変形をせず剛性も低下してしまうからである。つまり、ジオメトリの影響を小さくして、剛性を安定させることがコンパティビリティ性能の改善に有効と考えられる。

3. CAE解析方法

ペリメータ車とノーマル車の車対車衝突シミュレーションをFEAで行った。衝突位置を上下方向に変化させ、高さのジオメトリ差による車体変形への影響を両車のトーボード、ヒンジピラー及びカウルの車両中心における後退量で評価した。

衝突車両解析ソルバーはRADIOSSを使用し、車両モデルは車対車実車衝突テストでコリレーションをとったモデルを用いた。

解析の前提条件として、衝突モードは両車の車両中心軸を合わせたフルラップ前突とした。また、両車の衝突速度は前突事故件数の95%をカバーする55km/hとした³⁾。車両重量についてはジオメトリ差の影響を明確にするため、両車同一とし、重量の影響を除いた。

剛性については両車の車両前部構造が異なり同一特性でないため、高さの差0mmの解析結果をベースに相对比较することとした。

解析パラメータとして、Fig.5に示すように両車のサイドメンバの上下位置関係を選び、同じ高さか、ペリメータ車がノーマル車より高い場合とした。すなわち、

- ① 同一高さである0mm
- ② サイドメンバ断面が半分ラップする+40mm
- ③ サイドメンバ同士が当たらない+100mm

の三つのケースをパラメータにして、構造差による影響を評価した。

4. 解析結果と考察

4.1 解析結果

サイドメンバ高さの差に対するトーボード後退量の解析結果をFig.6、ヒンジピラー後退量をFig.7、カウル後退量をFig.8に示す。これらより、ペリメータ車は各部の後退量の変化が小さいが、ノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加すると各部の後退量も増加傾向にあることがわかる。つまり、ジオメトリの変化に対する車体変形の安定性においてノーマル車は不安定な結果となる構造であるが、ペリメータ車は安定した構造で自車の保護性能を高めるポテンシャルがあると考えられる。

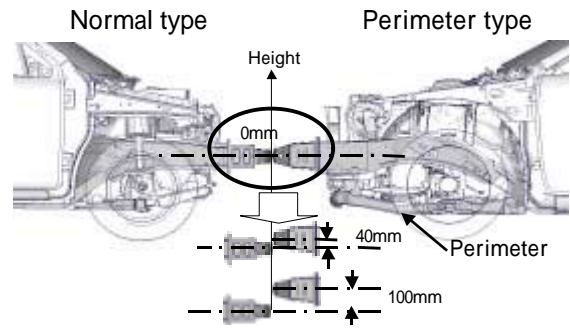


Fig.5 FEA Parameter

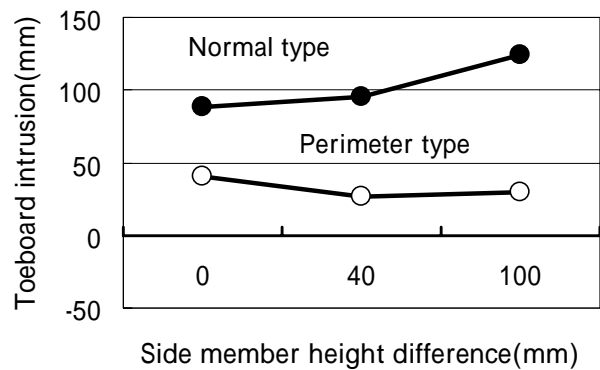


Fig.6 Toeboard Intrusion

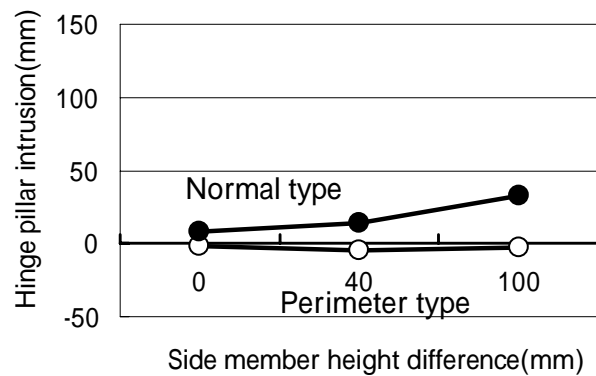


Fig.7 Hinge Pillar Intrusion

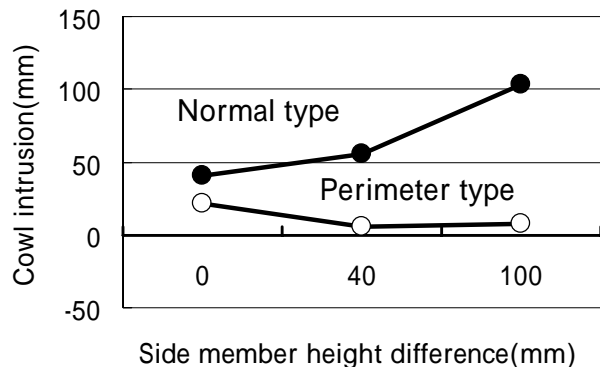


Fig.8 Cowl Intrusion

4.2 メカニズムの解明

(1) エネルギー吸収量

本項では前節の各部の後退量を車体変形の差として扱い、サイドメンバ高さの差が増加するとノーマル車の車体変形量が増加する原因を両車のエネルギー吸収量の分担（以下エネルギー分担）から分析する。

エネルギー吸収量を E 、荷重を F 、変形量を D 、剛性を K として、車対車衝突を単純化した物理モデルをFig.9に示す。また、エネルギー吸収量は車体変形と剛性によって以下の式で関係付けられる。

$$E_1 = (1/2) F \times D_1, \quad E_2 = (1/2) F \times D_2 \quad \text{①}$$

$$E_1 / (E_1 + E_2) = D_1 / (D_1 + D_2) \quad \text{②}$$

ここで $F = K_1 \times D_1 = K_2 \times D_2$ なので

これを②式に代入して

$$E_1 / (E_1 + E_2) = K_2 / (K_1 + K_2) \quad \text{③}$$

を得る。

②式と③式より

$$D_1 / (D_1 + D_2) + K_1 / (K_1 + K_2) = 1 \quad \text{④}$$

となり、車体変形量分担率と剛性分担率の関係が導かれる。

今回の解析では実車衝突で計測できないエネルギー吸収量をFEAモデル全要素のエネルギー吸収量の積算値から算出し求めた。また、車体変形量はサイドメンバ前のバンパーレインフォースメントの後退量を計算結果から求めた。

Fig.10に、ノーマル車の場合について車体変形量分担率

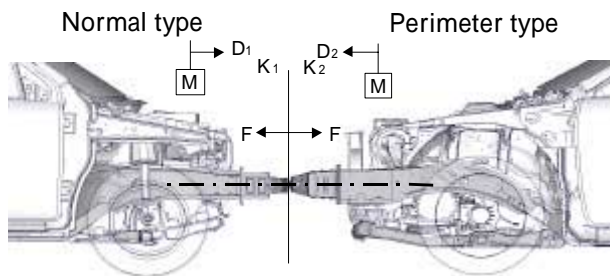


Fig.9 Vehicle-to-Vehicle Collision Model

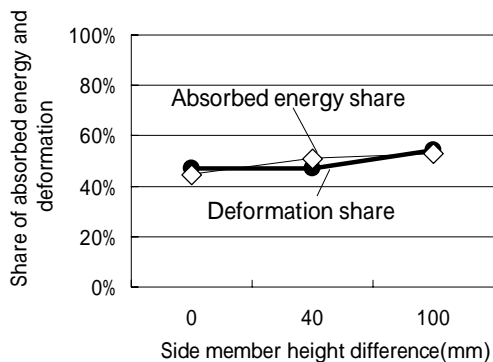


Fig.10 Vehicle Deformation and Energy Share of Normal Type

と、エネルギー分担率を示す。サイドメンバ高さの差が増加するとノーマル車の車体変形量分担とエネルギー分担が増加しており、②式の関係がほぼ成立していることがわかる。よって、車体変形量は吸収したエネルギーに左右されたことがわかる。

また、ノーマル車の車体変形量分担率と剛性分担率の関係は④式で記述される。サイドメンバ高さの差が増加するとノーマル車の車体変形量分担が増加する解析結果を当てはめると、ノーマル車の剛性分担が低下したことがわかる。

以上のことからノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加すると剛性が低下し、その結果車体変形量分担率とエネルギー分担率が増加したものと考えられる。

(2) 変形モード

次にノーマル車の剛性低下の原因を変形モードから分析する。

Fig.11とFig.12, Fig.13は、それぞれサイドメンバ高さの差 0 mm, 40mm, 100mmの場合における最大車体潰れ

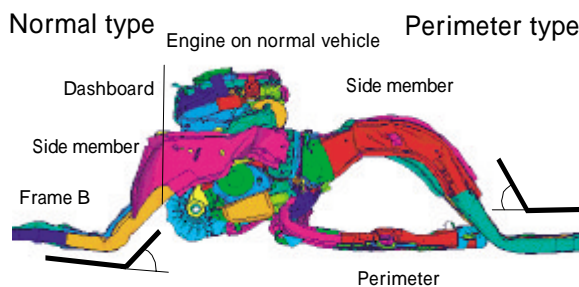


Fig.11 Deformation at 0mm Height Difference

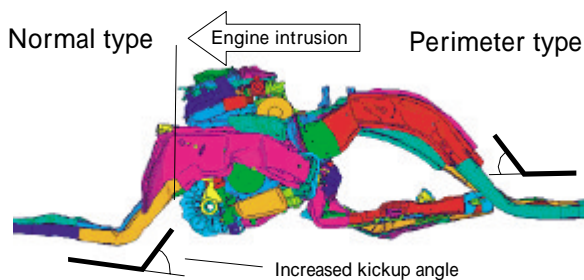


Fig.12 Deformation at 40mm Height Difference

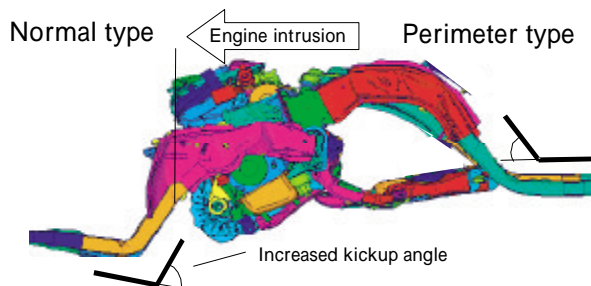


Fig.13 Deformation at 100mm Height Difference

時の解析結果を側面から見たものである。左側はノーマル車で右側はペリメータ車である。Fig.11はサイドメンバ高さの差が0mmの場合で、両車のサイドメンバが相互に変形していることがわかる。しかし、サイドメンバ同士が上下方向でオフセットしているFig.12とFig.13の場合は、ノーマル車のサイドメンバがペリメータ車のサイドメンバの下に潜り込みペリメータと干渉する現象が起きている。この時ペリメータ車のサイドメンバはノーマル車のエンジン部分まで侵入し、左右サイドメンバの前端をつなぐバンパーレインフォースメントがノーマル車のエンジンを押している。

これらの現象をエンジンの後退量とキックアップ角度の変化量で明確にする。エンジンの後退量は、サイドメンバ高さの差の増加に伴ってノーマル車側は増加し、ペリメータ車側は減少している (Fig.14)。またキックアップ角度の変化量は、高さの差0mmの状態を基準にした時、サイドメンバ高さの差の増加に伴ってノーマル車は増加しているが、ペリメータ車は増加していないことがわかる (Fig.15)。

これらをまとめると、ノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加すると、後退量が多くなったエンジンがダッシュボードを押し込み、キックアップが立ったため変形量が増加している。したがって④式からノーマル車の変形量が増加したので剛性が低下したと推定できる。

(3) ロードパス

そこで前述の変形モードから推定したノーマル車の剛性低下の原因をロードパスから分析する。

変形モードから推定した主要なロードパスをFig.16に示す。この図では、客室の変形現象を左右両端の片矢印内に示し、ロードパスに大きく影響する部品を四角 () で示す。また、各車内部のパスを片矢印 () で表し、両車間で相互作用するパスを両矢印 () で示している。そして

サイドメンバ高さの差が100mmのときのロードパスについては、図中の①と③はこの高さの差が0mmと同じロードパスの領域を示し、②と④は高さの差が100mmで新たに発生する領域を示している。

サイドメンバ高さの差が0mmの場合はサイドメンバ同士が当たりフレームBに荷重伝達される剛性の高いシンプルなパスとなる。これに対し、サイドメンバ高さの差が

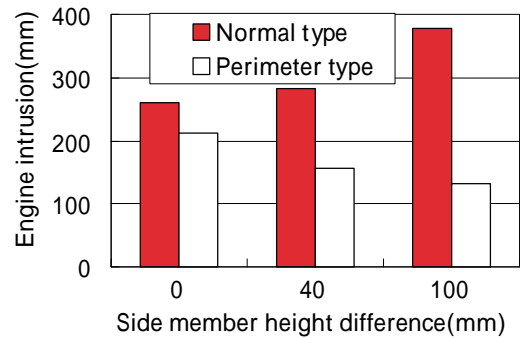


Fig.14 Engine Intrusion

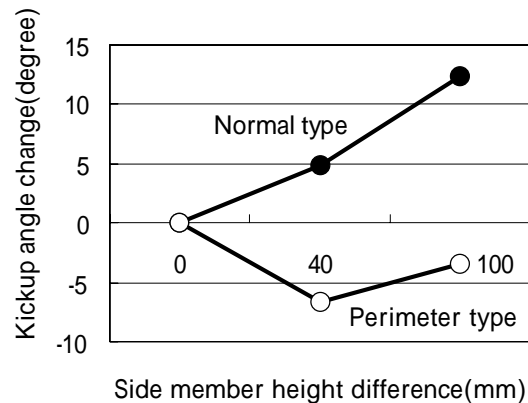


Fig.15 Variation of Kick-up Angle

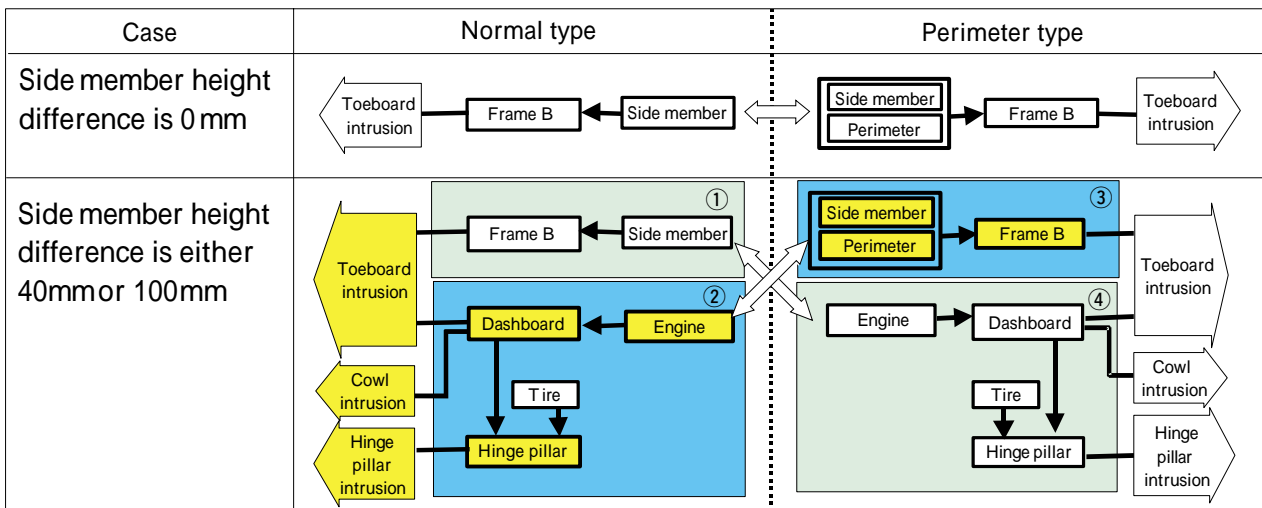


Fig.16 Major Load Path

40mmや100mmの場合は、左右のサイドメンバ前端をつなぐバンパーレイフォースメントを含むサイドメンバが相手車のエンジンに当たり、エンジンがダッシュボードを押し込む剛性の低いパスができ、複雑なロードパスとなる。ノーマル車のトーボード後退につながる①④の関係であるサイドメンバを介してのロードパスと図中の②③の関係であるエンジンを介してのロードパスを比較し、ノーマル車の剛性低下の原因を分析する。

Fig.17はペリメータ車のサイドメンバ高さの差が0mmと100mmの場合についてサイドメンバ、ペリメータ及びフレームBの最大荷重を示す。ノーマル車のサイドメンバとフレームBの最大荷重をFig.18に示す。

ペリメータ車はサイドメンバ高さの差が100mmになると、サイドメンバの荷重は低下するがペリメータ荷重は増加することから二つのロードパスで補っていることがわかる。また、③の領域で示されるフレームBはサイドメンバ高さの差が100mmになるとペリメータ荷重の増加により入力が増えており、両車間で相互作用するロードパスにより②のノーマル車のエンジンを介しての伝達荷重を増加させていることがわかる。

一方、ノーマル車ではサイドメンバ高さの差が100mmになるとFig.16の①の領域で示されるサイドメンバ、フレームBともに荷重が低下していることがわかる。

以上のことより、ノーマル車はサイドメンバ高さの差が増加した場合、①の領域で示される剛性の高い部分であるサイドメンバを介しての伝達荷重が減少し、②の領域で示される剛性の低い部分であるエンジンを介しての伝達荷重が増加することで、車両前部の剛性が低下したといえる。

(4) ペリメータ構造の特徴

以上の変形モードと主要なロードパスの解析結果をまとめて、ペリメータ構造の有利性について述べる。

サイドメンバ高さの差が増加すると、ノーマル車はサイドメンバとエンジンからの入力により、キックアップ上部に大きなモーメントが加わり、キックアップ角度の変化が大きくなる (Fig.19 Normal type)。キックアップ角度の増加は、車体変形量の増加につながり、車体変形量と剛性は互いに補完する関係にあることからノーマル車の剛性は低下する傾向を示す。

これに対し、ペリメータ車は、サイドメンバとペリメータで入力を分散できるためキックアップ上部へ入力するモーメントが小さくなる特徴がある (Fig.19 Perimeter type)。このため、キックアップ角度が安定する結果となり剛性も安定傾向となることがわかった。

また、ペリメータ構造はノーマル車がペリメータ車の下に潜り込む場合に、ノーマル車のサイドメンバと干渉するためノーマル車の潜り込みを抑制している。したがって、ペリメータ構造は相手車の潜り込み防止に効果があると考えられる。

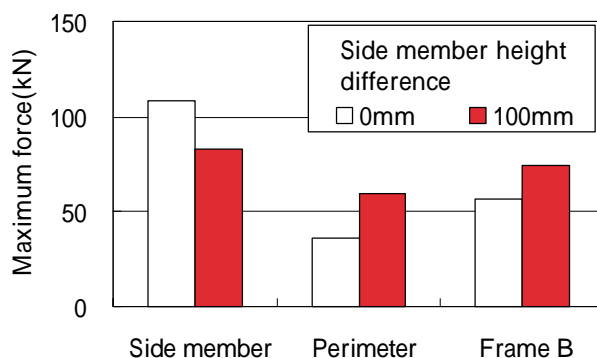


Fig.17 Maximum Force of Perimeter Type

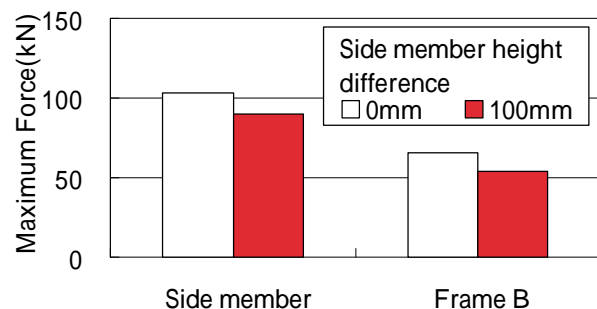


Fig.18 Maximum Force of Normal Type

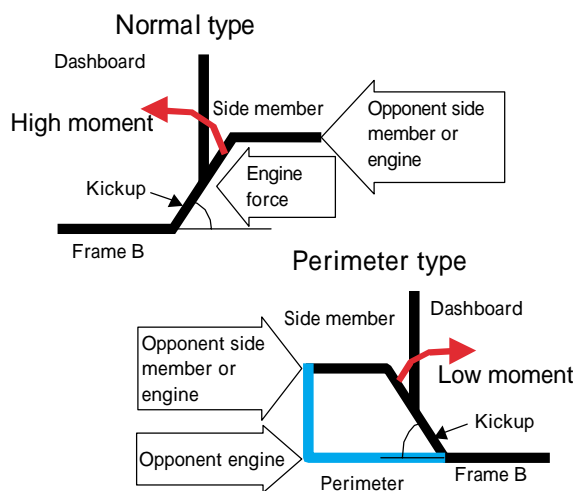


Fig.19 Toeboard Intrusion Mechanism

5.まとめ

ペリメータフレームのある車両とペリメータフレームのないサスクロスタイプの車両が衝突した場合のコンパティビリティ性能をCAE解析により比較検討した。その結果、ペリメータフレーム構造は、衝突高さの違いによるジオメトリ変化において自車の車体変形のばらつきを抑え、安定させる効果があることから自車の保護性能を高めるために有効な車両前面構造であることがわかった。

一方、コンパティビリティにおける加害性低減については、相手車の潜り込みを抑える効果を確認できた。しかし、相手車の剛性低下を抑えるまでの効果を確認できなかった。今後は、ペリメータ構造を発展させることで、自車の保護性能と相手車への加害性低減の両立化を図ることが研究すべき課題と考えている。

6.おわりに

リアルワールドの市場事故分析から、車両タイプの異なる車同士の衝突事故で、双方の車の乗員傷害に差が生じることが分かっている。マツダは両車の乗員の安全を同時に確保するための研究を行っており、本報告でその一部を紹介した。今後の市場事故による死傷者低減の観点から、安全技術開発を継続し商品化を目指して行きたい。

参考文献

- (1) Summers et al. : NHTSA's Research Program for Vehicle Aggressivity and Fleet Compatibility , ESV Paper, #249 (2001)
- (2) 交通事故総合分析センター：交通事故例調査・分析報告書 - 平成13年度報告書 - (2002)

著者



福島正信



藤井真司



安部晶子



尾川 茂



藤田英治



砂川孝之



田中由起子

論文・解説

26

歩行者頭部保護性能の開発 Development of Pedestrian Head Protection Technology

古本 有洋*1

Arihiro Furumoto

平田 頼光*3

Yorimitsu Hirata

畠中 威*4 胡木 隆*5

Takeshi Hatakenaka Takashi Ebisugi

要約

近年、日本では法制化や乗員保護性能の向上により自動車乗員の死亡者数は低下している。しかし、歩行者の死亡者数は大幅に低下することなく全交通事故死亡者数の約3割を占め、乗員の死亡について多い。ISOやIHRAなど国際調和を目的とした試験法の研究が開始され、欧州、日本では歩行者救済のため、法規制化が予定されている。また、安全性能の市場評価であるNCAP (New Car Assessment Program) 試験も欧州、豪州で既に実施され、歩行者保護性能向上は今後の注目技術の1つとなっている。このような市場環境の変化に対応するためマツダでは、事故統計を基に実際の事故時の傷害が可能な限り低減できるように技術開発を進め、商品化に取り組んでいる。

本報告では、実際の市場事故で重傷以上の傷害の多い頭部の傷害を軽減するボンネットとカウル周辺の対応技術と構造を紹介する。

Summary

In recent years, the number of traffic accident fatalities during driving is on the decrease because of the establishment of safety regulations and enhanced occupant protection. Pedestrians fatalities make up approx. 30% of all traffic fatalities. For international harmonization, a study on pedestrian protection test methods has been started, and European and Japanese governments are scheduled to establish pedestrian protection regulations and public domain tested for pedestrian protections. To promptly comply with these regulations and public domain tests, Mazda has focused on research and development based on accident analysis to reduce injury as much as possible.

This paper introduces new technologies and measures for decreasing serious pedestrian head injury.

1. はじめに

平成14年の日本国内の交通死亡事故統計⁽¹⁾によると全交通事故死亡者は8,326人となった。その中に占める歩行者は、2,384人で全体の約29%と高い割合を占めている (Fig.1)

自動車の安全に対する規制強化や乗員に対する保護性能の向上により、乗員の死亡は減少しつつある⁽²⁾ (Fig.2)。一方で歩行者の死亡割合はここ数年間ほぼ一定であり歩行者保護性能の向上は今後の重点安全取組み事項となってお

り、歩行者の死亡者削減のため日本や欧州で法規制の検討が進められている。また、近年、欧州NCAPや豪州NCAPなどの市場評価試験においても歩行者保護性能評価試験が採用され、日本でも市場評価試験の検討がされている。

マツダでも、事故統計などの市場事故調査結果をもとに歩行者傷害低減のため、死亡や死亡につながる頭部傷害低減のため、加害性を緩和する技術の開発を進めている。

歩行者の死亡原因の受傷部位は頭部が全体の約2/3を占め、重傷では20%を超えている (Fig.3)

また、加害部位はボンネット、カウル、フロントウイン

* 1, 2 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

* 3, 4 ボデー開発部
Body Development Dept.

* 5 CAE部
CAE Dept.

ドおよびAピラーとなっており、重傷事故での加害部位はボンネット、Aピラーとなっている (Fig.4)。本報告では死亡傷害救済のための車両対策のうちボンネット、カウル周りの対応について述べる。

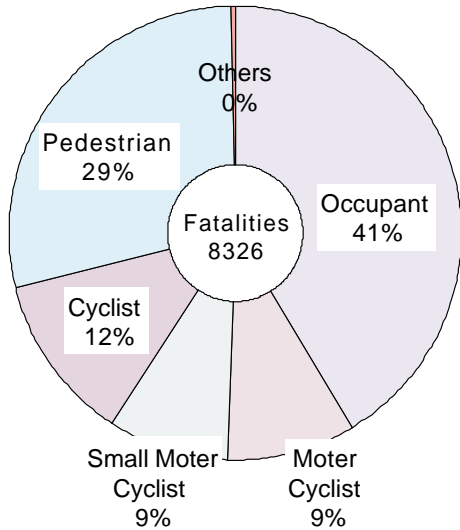


Fig.1 Accident Fatalities Data

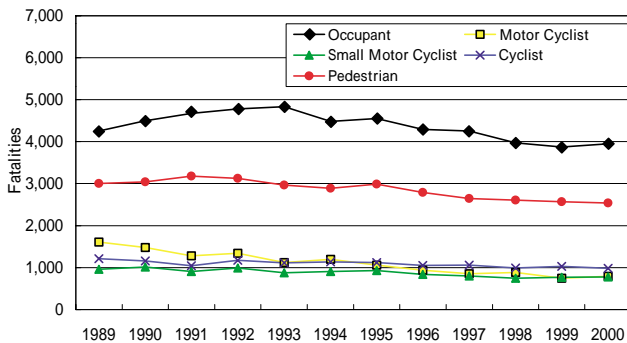


Fig.2 Fatalities Make-up Data

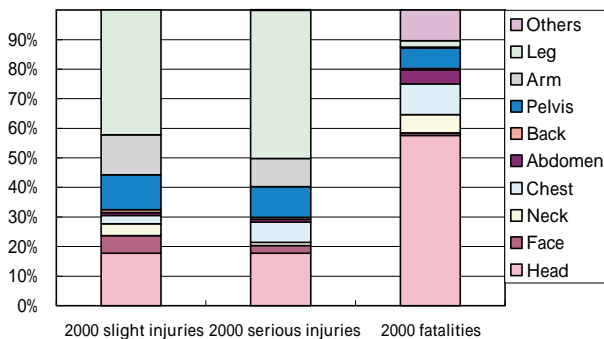


Fig.3 Injury Make-up

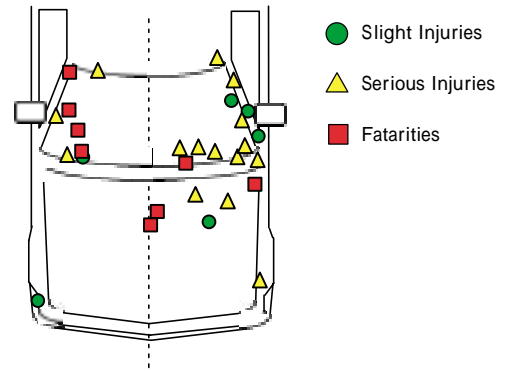


Fig.4 Head Contact Location

2. 開発の狙い

2.1 市場動向と課題

歩行者保護は、法規制化に先立ち欧州、豪州NCAP試験で性能評価が実施され公表されている。頭部傷害は死亡につながりやすいため、この傷害低減技術は死亡救済のために必要な技術であり、NCAP評価でも年々性能向上している (Fig.5)。頭部傷害低減には十分なエネルギー吸収ストロークが必要となる。対応構造はボンネット高アップなど空間確保のため車両の基本骨格に大きく影響する。その結果、パッケージや空力性能や燃費に大きく影響し、また、車両の前部デザインに制約が大きくなりやすい。歩行者への加害性を小さくし、かつこれらへの影響を最小にした頭部保護車両前部構造の開発が重要となる。

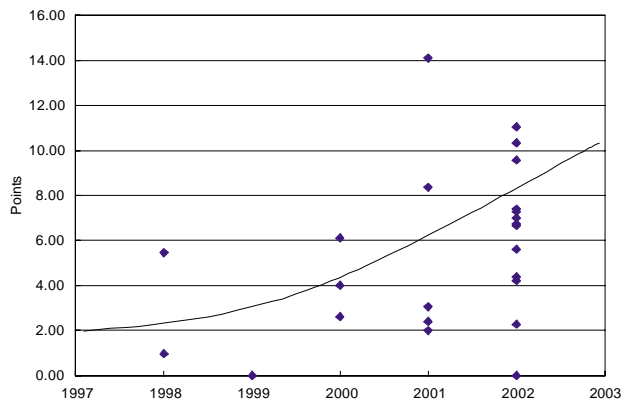


Fig.5 Head Impact Score Select Euro-NCAP

2.2 開発の基本方針

頭部保護を検討するには、車両との衝突を模擬した試験法として実際の車両にフルスケールダミーを衝突させる試験や、EEVC EG17で提案されている頭部を模擬した球形のインパクトを車両の前部に衝突させる試験法とコンピュータシミュレーションがある。我々は、車体形状ごと、試験ごとのばらつきが小さいインパクトによる頭部試験法を用い、傷害値は衝突で一般的に用いられるHIC (head

Injury Criteria) を指標として用いた。重傷であるAIS (Abbreviated Injury Scale) 4 の発生確率が約20%以下 (HIC 1000) を目標とし開発を進めた。

3. 歩行者頭部対応構造

従来車でのHICの分布を見ると、Fig.6に示すようにボンネット上で大きければついている。ばらつきを抑えるためボンネットやカウルなどの対応する部品の剛性の均一化を図っていくことが必要となる。

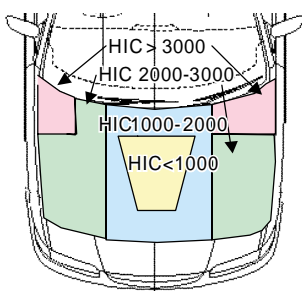


Fig.6 Current Vehicle HIC Distribution

3.1 ボンネット

従来車のボンネット試験結果では、Fig.7の実線で示すように点線のばねマス計算より求めた目標に対して初期荷重、後半荷重とも高くなっている。また、Fig.6に示すように衝撃点間のHICのばらつきが大きい。これらを解決するためFEM解析を行い、頭部衝撃時の衝撃エネルギーを効率よく吸収できるように、(1)エネルギー吸収特性の改善(2)衝撃点間の剛性の均一化に注力して構造の検討を行った。それ

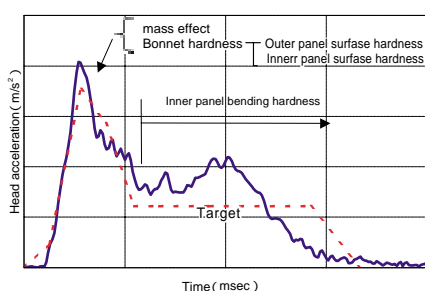


Fig.7 Current Vehicle Result

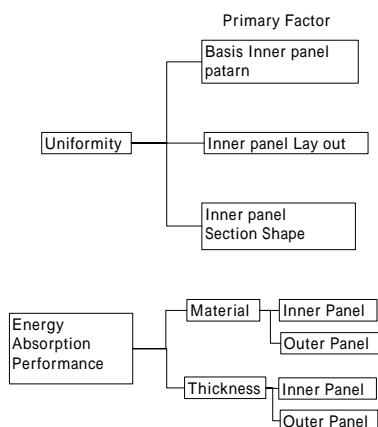


Fig.8 Study of Hood Countermeasure

ぞれの着目点の概略をFig.8に示す。

(1) エネルギー吸収特性の改善

(a) フレーム断面形状

頭部傷害値低減のためのボンネット張り剛性低減と従来からボンネットに要求されているねじり剛性や衝突エネルギー吸収特性の確保という相反する性能のバランスを取るためにFEM解析を用いながらメインフレームおよびサブフレーム断面の最適化を行った(Fig.9)。

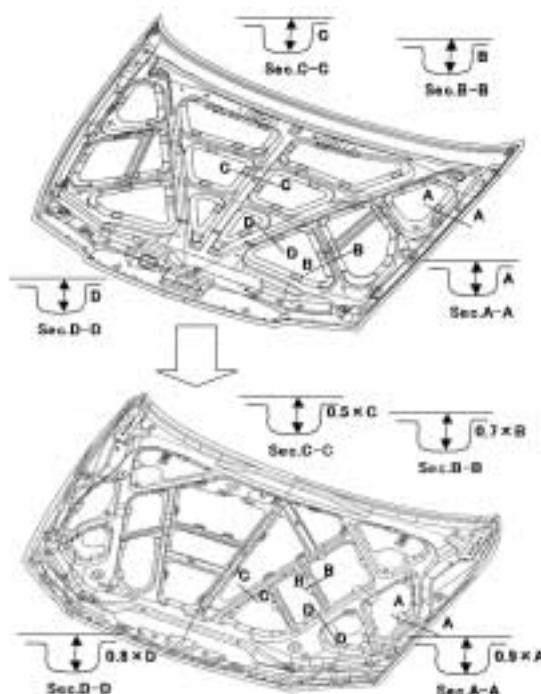


Fig.9 Inner Panel Countermeasure

(b) パネル板厚

ワックス掛け時に問題となる外板張り剛性や耐デント性を低下させることなく、歩行者保護性能向上を実現させるためにFEM解析を用いて、衝撃時の各パネルのエネルギー吸収寄与度を求めた(Fig.10)。その結

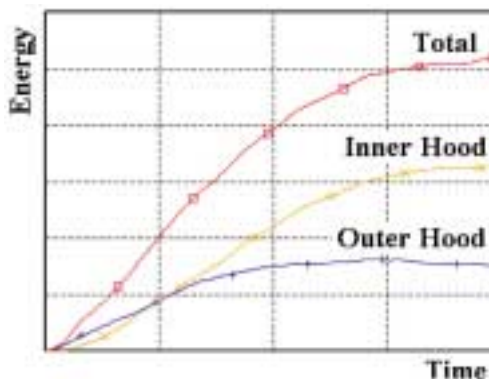


Fig.10 Compare Energy Absorption

果、アウターパネルの板厚は従来車両と同等とし、HIC低減効果の大きいインナーパネル板厚の10%低減を行った。

(2) 剛性の均一化

(a) インナーパネルのメインフレーム基本パターン

ねじれ剛性や衝突エネルギー吸収特性を悪化させることなくボンネット張り剛性の均一化を図るために、ボンネット外周にフレームを設定し、ボンネットラッチと両ボンネットヒンジを繋ぐフレームを逆八の字型とした。逆八の字型のフレームパターンは従来のV型フレーム構造で剛性の高かったボンネットラッチ噛み合い部周りの剛性低減を図ることができ、ボンネット前端周りの剛性の均一化を実現できた。

(b) インナーパネルのサブフレーム基本パターン

従来車両の十字接合タイプのフレーム交差部を打撃すると周辺に比べ剛性が高く、ピーク加速度が高くなり問題となっていた。これに対しフレーム接合部の荷重低減を図るために従来の十字接合タイプから三又接合タイプとした。また、ボンネットの張り剛性が極力均一になるようにサブフレームの間隔と数を決定した。

スタイリングや車両構造への影響を最小にして適用したこれらボンネットの歩行者保護対応構造は、アテンザに採用した。その結果、アテンザでは従来車と比較しHICを1/3に低減させることができた。更に、RX-8ではこのコンセプトを更に進めた「ショックコーンボンネット」を採用し、従来車比70%改善した。

3.2 カウル周辺対応技術

カウル周りはFig.11に示すようにボンネット、ダッシュアップ、ワイパなどの部品の剛性が絡み合い、ピボットの影響しない位置に比べワイパピボット周辺部ではHICが約3倍と大きなバラツキがある。このため、各々の剛性の最適化が必要となる。

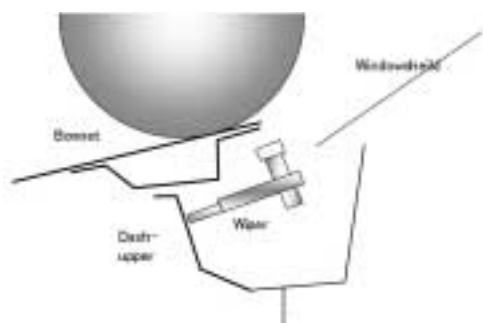


Fig.11 Cowl Section

カウル内に設定されるワイパ周りの対応構造について検討した。この部位では、カウルとボンネットを合わせた剛性で基本となるエネルギー吸収特性を決定し、ワイパへ荷重が入力した時点で変形を起こし、基本となるエネルギー吸収特性に影響させないことに注力した (Fig.12)。カウル周

りのエネルギー吸収特性は、ボンネットと同様ばねマス計算で目標を決定し、FEM解析を用い、ダッシュアップ、ワイパの構造化を検討した。

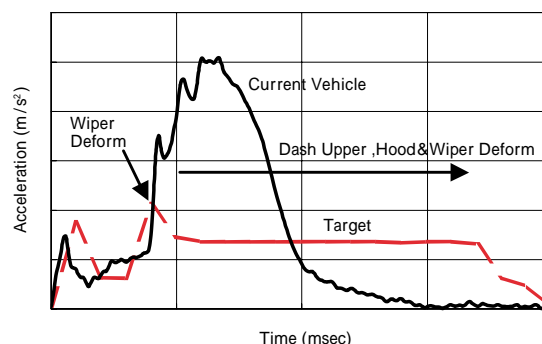


Fig.12 Wiper Target

(1) エネルギー吸収特性の改善

ボンネットは前述のように剛性の均一化を図り、更にボンネットを支えているダッシュアップ、ワイパのエネルギー吸収特性の改善を検討した。

(a) ダッシュアップの改善

ダッシュアップは車体剛性への寄与があるため、従来の構造を踏襲し、上方からの衝撃で変形しやすい折れのある構造とした (Fig.13)。衝撃でエネルギー吸収を行いながら変形する折れ角をFEM解析で求め、エネルギー吸収特性の改善を行った。

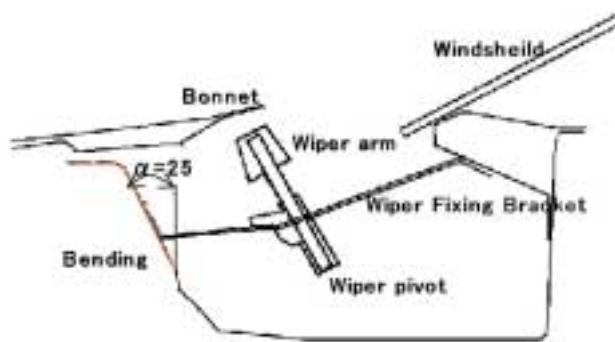


Fig.13 Dash-upper Structure

(b) ワイパの改善

実際の市場事故では体格の違いや衝突速度の違いにより上方からの頭部の衝撃方向や衝突位置が一定とならない。我々は、ワイパの基本性能である払拭性能を悪化させることなく、指向性が少なくロバスト性が高く、衝撃吸収性能の向上を図ることの可能な構造を検討した。

- ① ピボットの軸方向に上から荷重が入力されるとワッシャのToothと呼ばれる部分が下方に変形し、ピボットをかじる変形を起こし、衝撃エネルギーを吸収するスライドピボット構造 (Fig.14)。

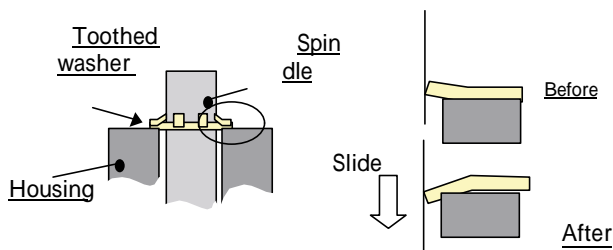


Fig.14 Sliding Wiper Pivot

② ピボットに衝撃荷重が入力されると、ピボットハウジングを介して荷重は車体取り付け部に入力される。ピボットハウジングと車体取り付け部間の脆弱部で破断し、ワイパは車体から離脱するワイパ離脱構造 (Fig.15)

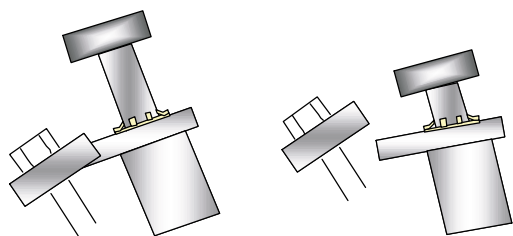


Fig.15 Break away Bracket

これら2つの構造を組合せ、ピボットのスライド荷重とワイパのピボットハウジングと車体取り付け部破損荷重を近接させ、ワイパピボット付近に衝撃力が入力することでスライドや離脱が確実に行われ、HICは従来車の1/3程度へ低下させることが可能となった (Fig.16)

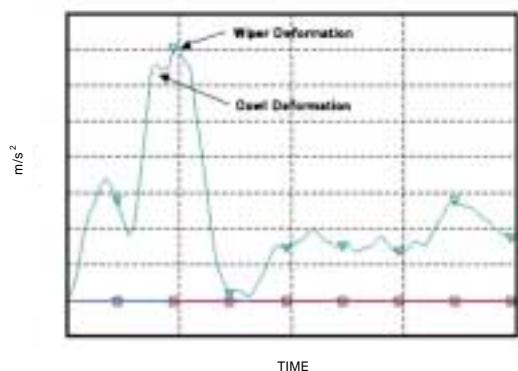


Fig.16 Wiper Countermeasure Result

また、安定してスライドや離脱を起こすためには、ワイパピボットをボンネットの下に入れるコンシールド化でボンネットを介して確実にピボットへ荷重が伝達されるようにすることが重要となる。

4. おわりに

本報告では、歩行者の死亡や重傷につながる傷害軽減のための頭部対応技術の中でも歩行者との衝突頻度や確率の高いボンネットを中心に述べた。

今後は、運転者の回避行動により接触が増えると予測されるフェンダや後遺傷害が残る脚部傷害にも注力し、お客様に喜ばれる安全技術開発と商品化を目指していきたい。

参考文献

- (1) 交通事故総合分析センター：交通事故例調査・分析報告書 - 平成13年度報告書 - (2002)
- (2) 警察庁交通局：平成14年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締状況について (2003)

著者



古本有洋



平田頼光



畠中 威



胡木 隆

論文・解説

27

“ Performance Feel ” (走り感) 育成 Nurturing of “ Performance Feel ”

黒田 真也*¹ 渡辺 洋史*² 中浦 大樹*³
 Masanari Kuroda Youji Watanabe Hiroki Nakaura
 福原 千絵*⁴ 佐々木 和夫*⁵
 Chie Fukuhara Kazuo Sasaki

要約

お客さまは加速度の絶対値だけでなく、エンジンの応答性や音、オートマチックトランスミッション（以下AT）の変速性能などを複合的に感じながら、車の走りの良し悪しを判断している。“Zoom-Zoom”（車を操る楽しさやわくわくした気持ち）を具現化し、マツダのブランドDNA「反応の優れたハンドリングと性能」を織り込んだ商品を開発すべく、我々は走り感を五つの軸からなる“Performance Feel”として定義し、各軸の構成要素を明確にする活動に取り組んでいる。今回、RX-8にその成果を織り込んだ。特にマツダが訴求している「Lively」、「Linear」については詳細に解説する。

Summary

Customers judge the road performance of a car by feeling not only an absolute value of acceleration but also combined factors including the response and sound of an engine, automatic transmission shifting performance and so on. In order to realize our concept called “Zoom-Zoom” (a feel described as “the childlike love of motion”) and develop products with Mazda’s brand DNA “Responsive Handling and Performance” incorporated, we defined the “Performance Feel” consisting of five axes and have been proceeding with activities to clarify elements of each axis. We have incorporated the outcome into RX-8. The terms “Lively” and “Linear”, which Mazda has been pushing as appeal points, are detailed below.

1. はじめに

走り感の良し悪しについて、従来は加速度の絶対値や応答性などの加速性能に関する要素のみで、その多くを説明することができた。しかしながら、近年の車の性能向上により、市場の交通の流れに乗るなど絶対必要条件である“加速性能に関する要素”だけではなく、音や操作系のフィールを含めた走りの味についてお客さまが評価をされるようになってきた。例えばFig.1のD車のように、加速度で劣っているにもかかわらず、APEALなど顧客満足度ではその順位が逆転する現象が生じている。これらの現象を解明するため、我々は走りに対するお客さまの評価コメントを調査し、整理した。その結果、さまざまな評価視点が存在することが判明した。そこでお客さまの走りに対する

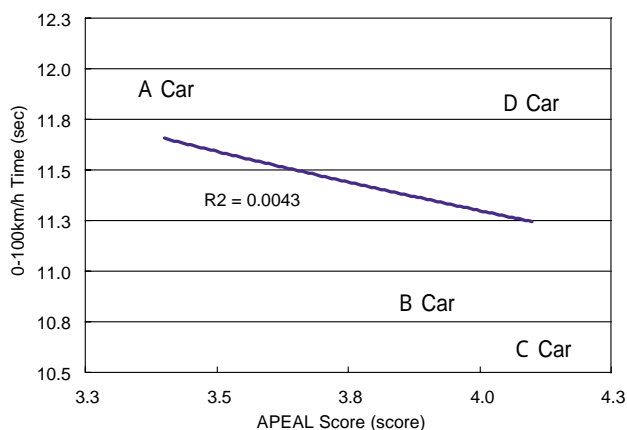


Fig.1 0-100km/h Time vs APEAL Score

* 1 ~ 3 車両実研部
 Vehicle Testing & Research Dept.
 * 5 ドライブトレイン開発部
 Drivetrain Development Dept.

* 4 技術研究所
 Technical Research Center

評価点を計47個の因子(加速度や音)を用いて統計解析したところ、加速度、音、AT変速性の3要素の寄与が高いことが分かった。

以上のことから、マツダとしての走り感を育成し、実現するためのツールとして、加速度、音、AT変速性を加味したPerformance Feel評価指標を定義した。

2. “Performance Feel” とは

2.1 5軸の成り立ち

我々は、市場から寄せられる走り感を表現する言葉や、各種試乗会でのコメントなどから、走りの味を表現する形容詞約200個を収集した。それらの包含関係を因子分析して約10個まで絞り込み、日本、USA、欧州および各国での使いやすさ、表現のしやすさを考慮して最終的に下記五つの軸に絞り込んだ。

各軸の定義を以下に示す。

「Lively」：軽快な

アクセル操作に対する車の挙動が、機敏で快活なこと

「Linear」：リニアな

アクセル操作に対する車の挙動がリニアなこと

「Torqueful」：余裕のある

アクセル操作に対して、走りの余裕を感じる

「Powerful」：爆発力のある

アグレッシブな走行で、躍動感、爆発力を感じる

「Smooth」：滑らかな

アクセル操作に対する車の挙動が、滑らかなこと

次に、各軸の方向性を明確に表現するため、加速度、音およびAT変速性のそれぞれについて、軸の方向性を特定できる評価視点を設定した。それらのプロセスを経て、マツダとして“Zoom-Zoom”(車を操る楽しさ、わくわくした気持ち)を感じさせ、また、RX-7、ロードスターといったマツダを代表する車の走り感をDNAとして継承するためには、「Lively」、「Linear」の軸に注力する必要があると考えた (Fig.2)。

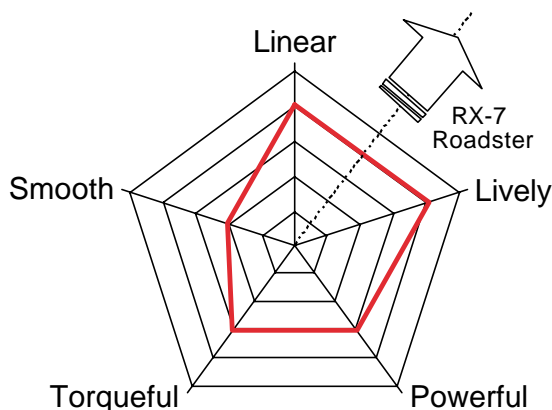


Fig.2 “Performance Feel” 5 Axes

3. ドライビングシミュレータでの実験

ロータリエンジン(以下RE)を搭載したRX-8のAT車において“Performance Feel”各軸に対する加速度や音などの影響を定量的に調査するために、これらの因子を独立に設定できるドライビングシミュレータ (Fig.3)を用いて実験を行った。ここでは、特に音との関連についての我々の研究成果を紹介する。

3.1 実験条件

(1) 5軸の評価シーン

市場での走行シーンに近いモードで評価するために市場調査を実施し、重要な走行シーンに絞り込み、評価モードとして設定した (Table 1)。

(2) 因子と水準

加速度、音およびAT変速性の影響を調査するために次の9つの因子についてその影響を調査した。加速度に関する因子として3,000、5,500rpmでのトルク特性、スロットル特性、コンバータ特性、音に関する因子として音圧レベル、音色、高周波成分、音変動、AT変速性に関する因子としてAT変速ショックとした。各因子の基準はある試作段階での数値とした。

- ① 3,000rpmのトルク：基準，基準に対し + 3 % , - 3 %
- ② 5,500rpmのトルク：基準，基準に対し + 5 % , - 5 %

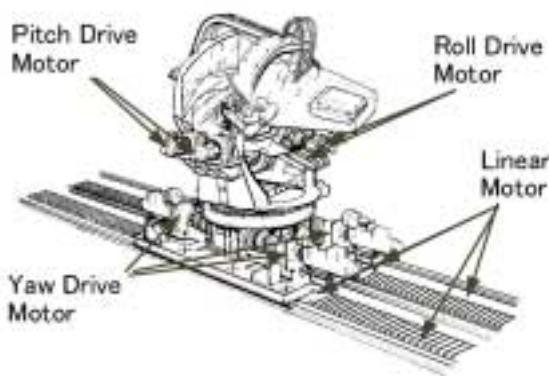


Fig.3 Picture Image of Driving Simulator

Table 1 Evaluation Mode

Driving scene	Speed Range
Standing Start	0-60km/h
Turning at Intersection	20-60km/h
Merging at FWY	0-100km/h
Keeping up at FWY	100-120km/h
Passing at FWY	100-120km/h

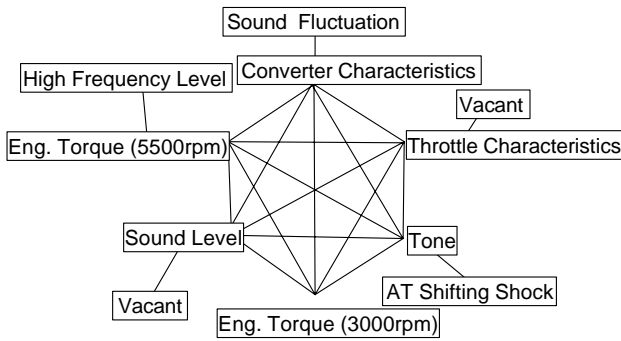


Fig.4 Interaction Map

- ③ スロットル特性：基準，基準に対しペダルストロークに対しスロットルの開き方が抑えられているもの，開き方が急なもの
- ④ コンバータ特性（容量係数）：基準，基準に対し +30%，-30%
- ⑤ AT変速ショック：基準，基準に対し+40%，-40%
- ⑥ 音圧レベル：基準，基準に対し+3dB，-3dB
- ⑦ 音色：基準，基準に対し2次成分強調，ハーフ次成分強調
- ⑧ 高周波成分：基準，基準に対し1~5kHzの周波数成分が+2dB，-2dB
- ⑨ 音変動：基準，基準に対し4,000rpm付近でのこもり音発生，発生なし
- (3) 交互作用（因子同士の組み合わせ）

加速度や音の因子同士の組み合わせによる効果を確認するために、各因子を実験計画法のL32直交表に基づき、割り付けた。線で結んでいる因子同士の交互作用を解析可能である (Fig.4)。

3.2 結果

(1) “Performance Feel”各軸における各因子の寄与率
各軸に対する各因子の寄与率をFig.5に示す。各軸とも加速度だけでなく音やAT変速性それらの交互作用によって評価されていること、各軸において重要視している因子が異なることが分かった。

この5軸のうち、マツダが訴求する「Lively」と「Linear」について述べる。まず「Lively」においては、Fig.5のように加速度に関する因子が約60%と大きな割合で占めており、スポーツカーの特徴と考えられる。その内訳は、スロットル特性が約40%となっており、トルクの絶対値もさることながら、踏み込んだ瞬間の駆動力の大きさ=レスポンスが重要と考えられる。レスポンスを改善するためには、路面に伝えられる最終的な駆動力を発生しているタイヤが、アクセル操作に対して機敏に反応する必要がある。

「Linear」においては、加速度と音についての交互作用

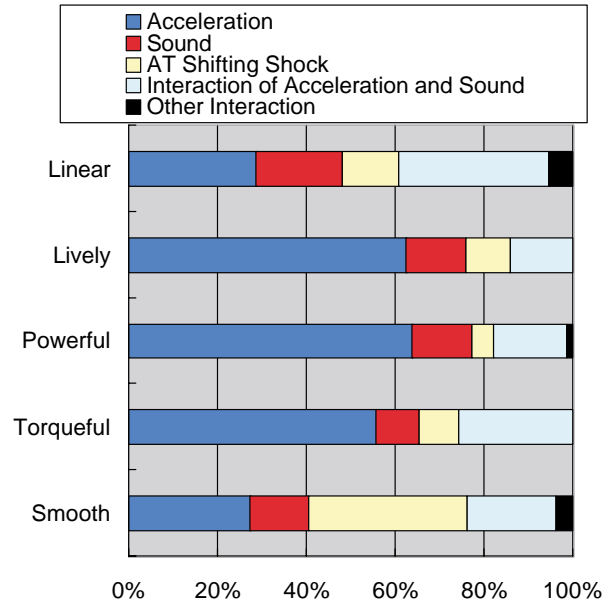


Fig.5 Proportion of Factors Calculated from Results of Evaluation Experiment with DS

が約30%と最も大きい。ロータリ・フィーリングを演出すべく、音と加速度のバランスに注力した。

(2) 各因子に対する官能評価の変化予測

解析結果を元にRX-8における因子の変化に対する、“Performance Feel”の官能評価の変化について推定した。特徴的な結果として音圧レベル、高周波成分での結果を示す。音圧レベルが大きい、また高周波成分が大きい方が、

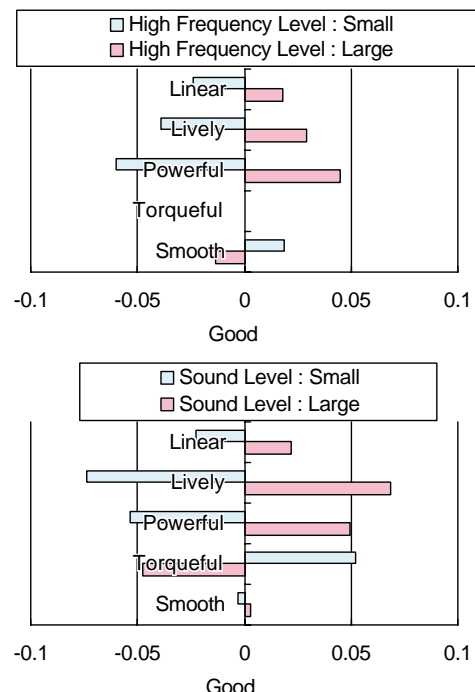


Fig.6 Calculation Results by Sound

「Lively」、「Linear」および「Powerful」の軸に対する評価点が良くなると予測された。音圧レベルは「スポーツ」として、高周波成分は「RE」としての特徴を表していると考えられる (Fig.6)

音を代表例として挙げた上記事例のように、車両の特性を変化させることによって、「Performance Feel」各軸に与える影響を定性的にみることは可能である。現在のところ、実車での最終性能については、やはり人間の官能評価に頼らざるをえず、特に寄与率の大きかった加速度について、以下にRX-8で取り組んだ事例を紹介する。

4 . RX-8での取り組み事例の紹介

マツダが訴求する「Lively」、「Linear」における加速度の領域についての取り組み事例を紹介する。

4.1 「Lively」の向上

(1) ダイレクト感の定義

「Lively」を構成する一要素の中で重要なダイレクト感についてRX-8での取り組みを述べる。

ダイレクト感とは、「アクセルを踏み込んで車両挙動が発生するまでの加速応答の良さ」と定義している。ダイレクト感は、加速応答時間、加速度の大きさ、加速振動収束の3つの要素に分類される (Fig.7)

(2) 狙い

ダイレクト感を向上させる上で最も効果の高い要素は加速応答時間の短縮化である。加速応答時間を短縮するためには、できるだけ速くエンジンのトルクを上昇させることが必要である。しかし、エンジントルクを速く上昇させると加速ショックや加速振動の悪化を招きがちである。それらの問題に対処するために従来はエンジントルク制御により加速ショック、加速振動を抑制していた。ところが、エ

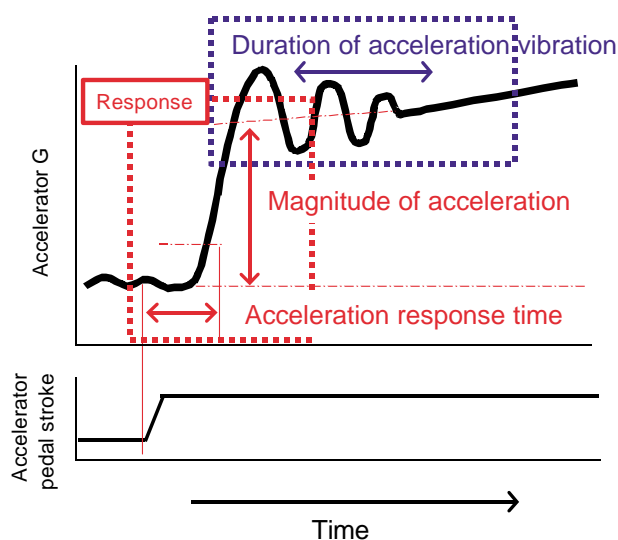


Fig.7 Definition of “ Direct Feel ”

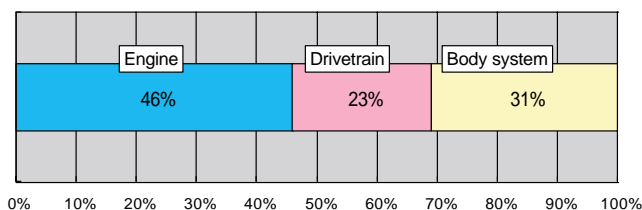


Fig.8 Breakdown Response Time

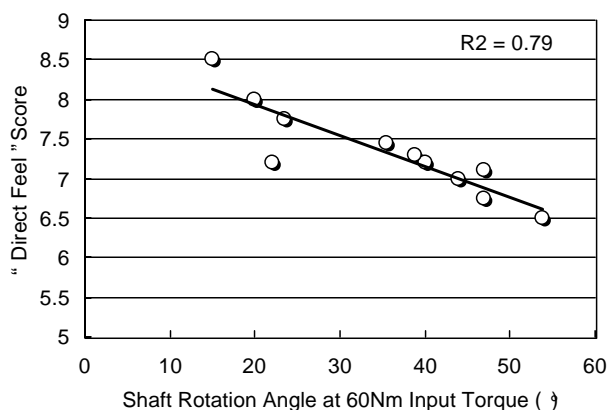


Fig.9 “ Direct Feel ” vs Shaft Rotation Angle

ンジン制御による向上策はトルクを抑える方向の制御方式になるため、RX-8が目指す高いレベルのダイレクト感を創り込むためには、応答性や加速の切れ味に弊害となって現れる。従って、エンジンや伝達系など、ハードによるポテンシャルアップを第一の狙いとして定めた。

(3) 達成手段の検討

加速応答時間を分析するために、エンジン系、伝達系および車体系の領域に分けて、アクセルを踏み込んでから車体が反応するまでの所要時間の切り分けを実施した (Fig.8)。その結果、エンジン系だけでなく、伝達系、車体系も同様に所要時間が長くなることが分かる。エンジン系の応答時間を短くするには吸気ボリュームの低減など様々な手法が存在するが、他性能への悪影響も大きく、加速振動収束にも大きく貢献する伝達系に焦点を絞りダイレクト感の向上を図ることにした。

この伝達系の応答遅れは伝達系の剛性と関連が深いと考え、競合車を含め、実車でクランクシャフトに一定トルクを与えた時の総ねじれ角を計測した。この総ねじれ角とダイレクト感の官能評価結果を統計的に分析したところ、相関関係にあることが分かった (Fig.9)。この結果を元に、車体振動への弊害をにらみながら、RX-8では伝達系の剛性アップの最適化を行った。

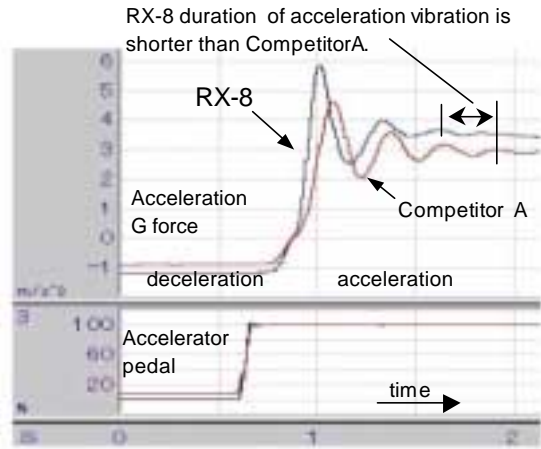


Fig.10 “ Direct Feel ” of RX-8

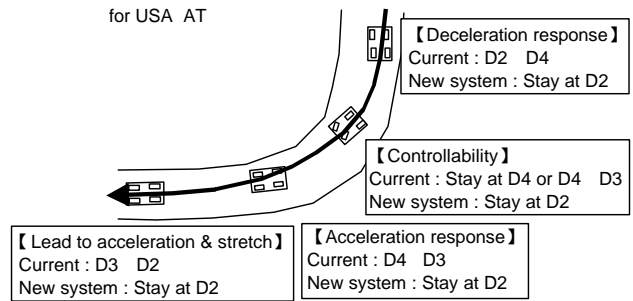


Fig.12 Representative Example of Improvement

(4) 達成性能

先に述べた伝達系の剛性アップとエンジン制御による最適化を実施した結果、RX-8のダイレクト感は競合他車と比べてもTopレベルの性能に仕上がった (Fig.10)

4.2 「Linear」の向上

(1) 加速度のリニアさ

「Linear」を構成する一要素の中で重要な加速度のリニアさについてRX-8での取り組みを述べる。

加速度のリニアさは、時間経過やアクセル操作等に対する加速度変化の心地良さを表現する指標である。具体的には時間経過と、アクセルの踏み込み量に対する加速度のコントロール性がドライバの意図にマッチした特性であることを示す (Fig.11)

(2) 狙い

加速度のリニアさを向上させるためには、エレキスロットル等によるトルクマネジメントの最適化が必要である。加えて、自動変速により駆動力変化が生じるAT車についてはギヤ段選択の最適化が必要とされる。

一般的にAT車の自動変速時期は、ドライバに自然な変

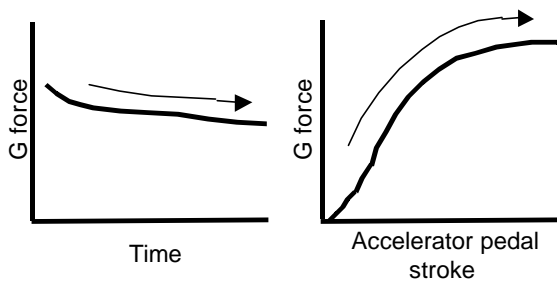


Fig.11 G force vs Time, Accelerator Pedal Stroke

速タイミングを感じさせることを基本としている。MT車の变速操作を例に挙げると、低ギヤ段から加速し定常走行に移行する場合、その多くはシフトアップする。ところが同じ定常走行へ移行する場合でも、コーナに差しかったり、前の車との距離が狭まるなど、ギヤ段をそのままにキープしたくなるシーンも存在している。一般的なAT車の制御は、アクセル開度と車速で变速時期が決定されるため、これらのシーンの両立を図ることが難しかった。

(3) 達成手段の検討

RX-8では、加速度のリニアさを従来より向上させるために、これらの両立が難しいシーンに狙いを定めた。そのために達成すべき变速制御は、次の2点と考えた。

- ① ギヤをキープしたいシーンの検知
- ② ギヤをシフトアップさせたいシーンの検知

次に当社新AT制御システムであるActive Shift制御を用いて、必要とされるセンシングシステム、制御方法の策定を実施した。

このAT Active Shift制御を用いてRX-8では次のシーンで、ドライバの意図にマッチするように变速時期の方向性を明確にしている。

- ① コーナリングシーン (Fig.12)
- ② 高速道等での進入シーン

(4) 達成性能

Fig.13は、同一コース走行 (一般山岳ワインディング道路) でのAT Active Shift有無によるエンジン回転、アクセル開度および車速の挙動を示す。従来制御よりも、アクセルの動きに対して变速段位の変動が小さく、エンジン回転変化も小さいことが分かる。また、回転変化が小さいということは、急激な音変化も抑制することができ、ロータリ・フィーリングの向上へ貢献している。

6. おわりに

マツダは走り感を五つの軸からなる新たな指標“Performance Feel”として定義し、加速度だけでなく音やAT変速性等含めて育成することで、車を操る楽しさ、わくわくした気持ちである、“Zoom-Zoom”を具現化し、マツダのブランドDNA「反応の優れたハンドリングと性能」をお客さまに体感していただける車創りを新型MPV以降実施している。ここに集大成ともいべきRX-8を紹介することができた。今後、操作系やAT応答性とショックとの関係などについて研究を進め、更に発展させたい。

著者



黒田真也



渡辺洋史



福原千絵



佐々木和夫

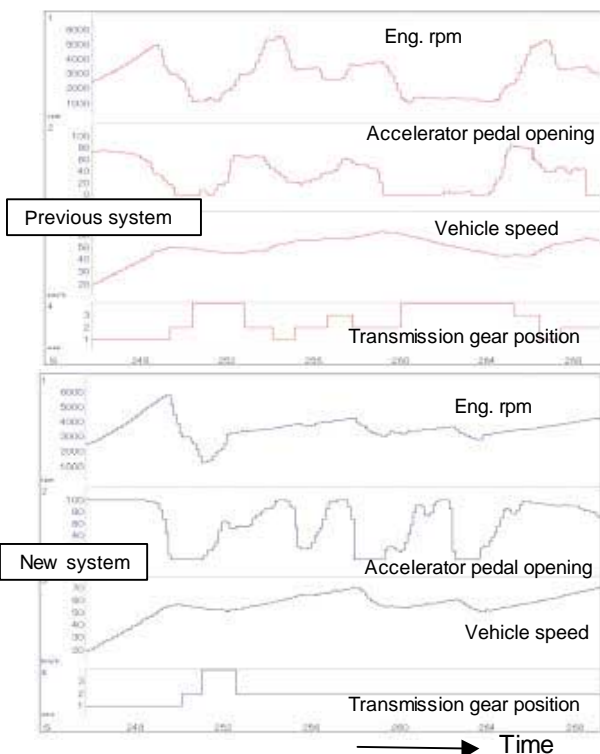


Fig.13 Effect of AT Active Shift Control

5. RX-8の“Performance Feel”

これら“Performance Feel”の創り込み作業を通して競合比較で明確な走り感の差、即ち“Zoom-Zoom”を感じていただける性能に上げることができた。社内評価による“Performance Feel”レーダーチャートをFig.14に記載する。このように、マツダが訴求する「Lively」で「Linear」な走り感を実現している。

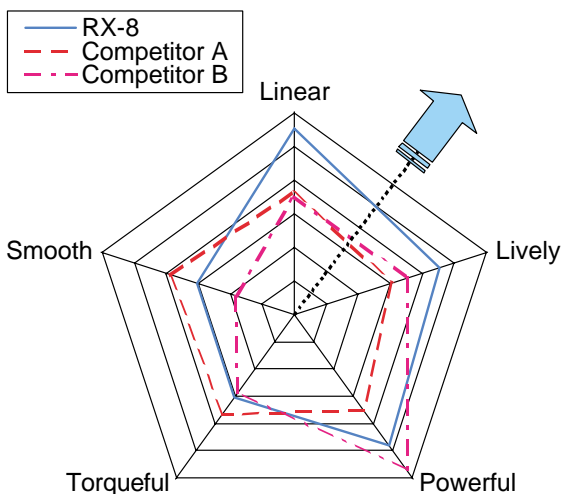


Fig.14 “Performance Feel” Radar Chart of RX-8

論文・解説

28

4輪2軸加振機の導入と乗心地開発への適用

Introduction of Bi-axial 4-Poster and Application to Ride Development

水島裕文*¹ 森田俊樹*² 兼品直和*³
Hirofumi Mizushima Toshiki Morita Naokazu Kaneshina

要約

現在自動車業界では、シミュレーション技術が急速に進展しており、乗心地分野においてもフルビークルでの解析が盛んである。将来的には人間の感性に訴えるこの性能をどう数値化するかが重要なテーマとなる。そのためには、まず実走時の車両の動きを計測することから始めなければならないが、実走テストではデータの精度やばらつきが問題となる。そこで、実走状態をベンチ上で精度良く再現できる試験装置が必要となってくる。

既存の加振機でそれを再現しようとした場合、能力不足などいくつかの問題が生じるため、今回それらを解決した4輪2軸加振機を新たに導入した。その再現能力をデータやフィーリング評価などにより検証したところ、低周波/高周波とも再現精度の高さを確認することができた。そこで実際に、乗心地の主要課題の一つであるヨーロッパ市場でのバンピー現象への適用を試みた。その結果、実走時の車両運動や振動レベルが精度良く再現でき、試験機上でバンピー現象の評価/育成ができる環境を作ることに成功した。

今後はこの加振機を、乗心地の定量化など基礎技術の研究に活用していく予定である。

Summary

In the automobile industry, recently, simulation technology progresses rapidly, and analysis of Ride Comfort with a full vehicle model is on the increase. It will be an important theme how to transform this performance, which depends on human sensitivity, into index in the future. To realize this, we must measure vehicle response first, however, there are problems of accuracy and dispersion of data from a proving ground test. Therefore, test equipment to reproduce the proving ground test condition on bench is necessary.

When the existing test equipment reproduces Ride Comfort of the field test, there are some problems of deficiency in performance. So we introduced Bi-axial 4-Poster to solve these problems. As the result of verification of the new equipment for its reproduction accuracy, we were able to get favorable results at both high and low frequency. Moreover, we tried to reproduce bumpy phenomena, which are often concerned in Europe, on the equipment. Vehicle movement on the proving ground can be reproduced and it is able to evaluate and develop the bumpy phenomena with the new equipment.

We will utilize Bi-axial 4-Poster for quantitative analysis and technology of Ride Comfort.

* 1 ~ 3 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

1. はじめに

現在自動車業界では、各性能とも開発期間の短縮や重量効率の向上を目指して、予測精度の高いシミュレーション技術が急速に進行している。乗心地分野においてもフルビークルでの解析が盛んであり、これらの技術は年々実車に近い方向に複雑かつ精度が良くなりつつある。今後これらのシミュレーション技術は人間の感性の部分にまで踏み込むことになると予想されている。その段階では、乗心地という人間の感性に訴える性能をどのように数値化するかが重要なテーマとなる。

当社でも、現在バーチャルテスト技術の開発を進めている。乗心地性能は、車両全体性能からボディシステム、シャシーシステム、更には個々の部品にまで要求特性をカスケードし、部品レベルで性能を育成していく開発を目指している。そして最終的には、種々のシミュレーションツールとのコリレーションをはかり、バーチャルテストングとして確立する計画である。しかし、人間の感性を主としたこれまでの開発スタイルでは、乗心地性能を示す指標はフィーリング評価点しかないため、システム/部品の定量特性との関連付けに苦慮している。

このように、乗心地の開発技術を発展させる上で、フィーリングによる評価指標を計測可能な物理量に置き換えることは、非常に重要な意味を持つことがわかる。

実現に向けては、まず加速度計や変位計などで、実走時における車体やステアリングなど各部の動きを物理量で捕らえることから始めなければならない。ところが実走テストでは、走行ライン(タイヤが通る場所)やアクセル開度といった人為的な条件や、外気温、天候といった環境条件のばらつきにより、データの精度/同期が得られず分析には困難を極める。よって、乗心地現象を解析するための質の高いデータを得るためには、実走状態を精度良く再現でき、かつ安定した計測が行えるベンチ試験機が必要となってくる。

2. 4輪2軸加振機の導入目的

2.1 乗心地ベンチテスト化の課題

国内外の自動車メーカーを見渡すと、フルビークルでのベンチテストが可能な加振試験機にはさまざまなタイプが存在している。1輪あたり1軸(上下方向のみ)の簡易的なものから、モーメント方向の加振もできる6軸のタイプのものまである。また、振幅や周波数などのパフォーマンスについても目的に応じて設定されている。ところがこれらの加振機の多くは、強度/耐久性の試験に運用されているケースが多く、乗心地の解析や開発に活用されているという例はほとんどみられない。そこで、当社が所有する振動解析用の2輪加振機と強度/耐久試験用の4ポスター、ロードシミュレータ¹⁾について、乗心地のベンチテスト化と

いう視点で、特徴と問題点を洗い出した(Table1)。

2輪加振機は前後どちらかのタイヤを上下または前後に加振する試験機で、実走行を再現する機能は持っていない。そのため主に車両各部の振動伝達特性を計測するために使用されていた。しかも、装置自体も旧式化しており、本来加振システムに要求されるリピータビリティの面でも十分な能力を持っていなかった。特に5Hz以下の低周波の精度が低く、フィーリングでは感じる性能差もテストパラッキに埋もれ、明確な特性差として表れなかった。それゆえ、データの同期性も低く、モーダル解析におけるモード分析結果も良好ではないなどの実害が生じていた。

一方4ポスターは、前後輪の同時加振が可能で、実走行を再現する機能を持っている。そのため、実走状態に近いテストができ、突き上げ感などの再現性は高い。しかし、前後方向の加振は不可能であるため、フロアのゴツゴツ感やステアリングホイールのブルブル感など、前後方向の入力を主成分とする現象の再現は不可能であった。

ロードシミュレータは、1輪あたり6自由度の加振ができ、実走行再現機能もあるため、実走状態をベンチで模擬するには最も理想的なシステムといえる。ところが、専用ホイールを装着する必要があるため、乗心地に影響が大きいタイヤ特性が結果に反映されなかったり、車体を固定する必要があるため、パネ上の自由運動が妨げられてしまうといったテスト条件の面で実走時との差が生じていた。また、車両をクレーンで持ち上げて固定しなければならないなど、準備が大掛かりになるため、量産開発での運用を考慮すると、工数がかかりすぎるのも難点であった。

2.2 4輪2軸加振機の役割

以上のような実走時の乗心地をベンチテスト化するための課題を解決するため、

- 1: 実走再現に必要な加振軸の最適化
- 2: 低周波でのリピータビリティを確保
- 3: 実車をベンチ上にウォークインで設置
- 4: 車体固定等の拘束は不要

という要件を設定し、これらを満たした4輪2軸タイプ

Table 1 Feature and Problem of Bench System

		2-Poster		4-Poster		Road Simulator	
Vibration Specification	Vibration Wheel	2 Wheel (Front or Rear)		4 Wheel		4 Wheel	
	Vibration Axis	Bi axial (not vibration at same time)		Mono Axial		6 axial	
Capacity & Problem	Ability to reproduce road	x	nothing	x	middle		high
	Repeatability	x	low (on low frequency)		high		high
	Fixed of body		without		without	x	with
	Man-hour of test		little		little	x	many



Fig.1 Bi-axial 4-Poster

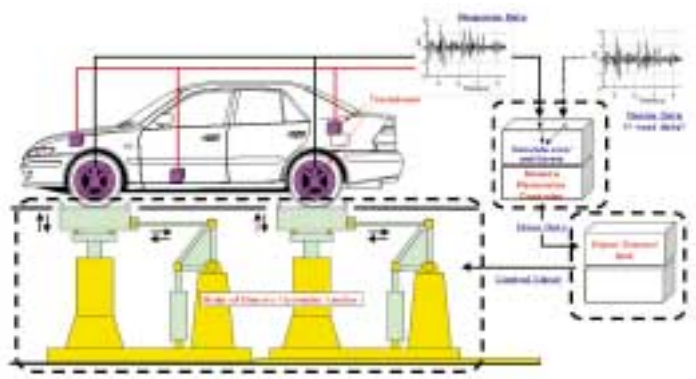


Fig.3 Structure of Bi-axial 4-Poster

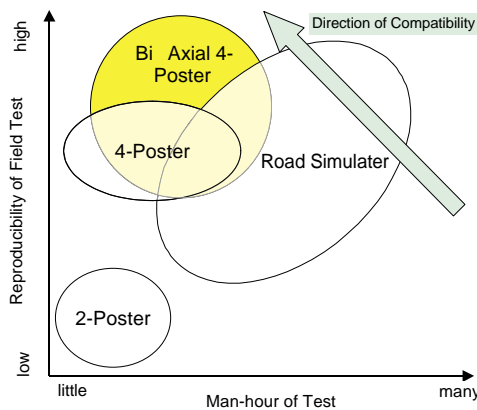


Fig.2 Positioning of Bi-axial 4-Poster

Table 2 Performance of Bi-axial 4-Poster

Vehicle Range	Demio - Titan(2t-14feet)	
Wheel Base Range	2200 mm - 3400 mm	
Max Force	Vertical	50 KN /1unit
	Longitudinal	15 KN /1unit
Max Displacement	Vertical	± 30 mm
	Longitudinal	± 35 mm
Max Frequency	100 Hz	
Dynamic Displacement (Demio)	Vertical	± 30 mm / 4Hz
		± 15 mm / 10Hz
		± 5 mm / 30Hz
	Longitudinal	± 0.4 mm / 100Hz
		± 35 mm / 10Hz
		± 6 mm / 30Hz
		± 0.6 mm / 100Hz

(上下/前後)の加振機を導入した (Fig.1)。このタイプは国内初の試みであり、Fig.2に示すように、既存の加振機の問題点を払拭し、再現性と利便性を高いレベルでバランスさせた試験装置である。

3 . 4 輪 2 軸加振機の特徴

3.1 全体の構成

4 輪 2 軸加振機は、Fig.3に示すように大きく分けて三つのパートから成り立っている。実際に車両に力を与える「油圧システム本体」、加振台に力信号を送る「シグナルコントロールユニット」、データの分析 / 解析ツールである「リモートパラメータコントローラ」の三つである。それぞれのパートについて解説する。

(1) 油圧システム本体

加振装置はタイヤ接地面入力で、2 軸 (上下/前後) × 4 輪の計 8 自由度の油圧装置である。加振台は、床面と極力フラットになるように配置し、ウォークインで車両を設置できるようにした。このため、車両に乗り込んでのフィーリング評価も容易に行え、乗心地のみならず異音の検討なども可能である。また、8 自由度の加振機能を備えつつも、ストロークは必要最小限にしてあるので、車両固定な

どのばね上の振動特性に影響するような安全装置は不要である。このため、ばね下 / ばね上とも実走状態に近いばねマス系でのテストが可能であり、更には工数削減にも貢献している。この本体の性能をTable2に示す。乗心地の解析に十分な加振周波数帯を有しており、かつ小型乗用車から 2 tトラックまでテスト可能である。上下方向の最大荷重は50kNと大きなパフォーマンスを備えており、リピータビリティの確保に努めている。

(2) シグナルコントロールユニット

加振信号を本体へ供給する装置が、シグナルコントロールユニットであり、リモートパラメータコントローラを用いて実走行を再現するときも、これを介して加振機本体に信号を送る。従来のコントロールユニットと異なる点は、加振台の応答特性を調整できるようになったことである。この機能により、車両の重量に影響されることなく、目標通りの入力波形で加振台を動かすことができるため、安定した計測が行えるとともに、実走行の再現作業においては、その精度を向上させる役割を果たしている。また、各輪各方向の入力波形、位相、振幅を任意に設定できるシグナルジェネレータも内蔵されており、車体各部の振動伝達特性を計測することができる。

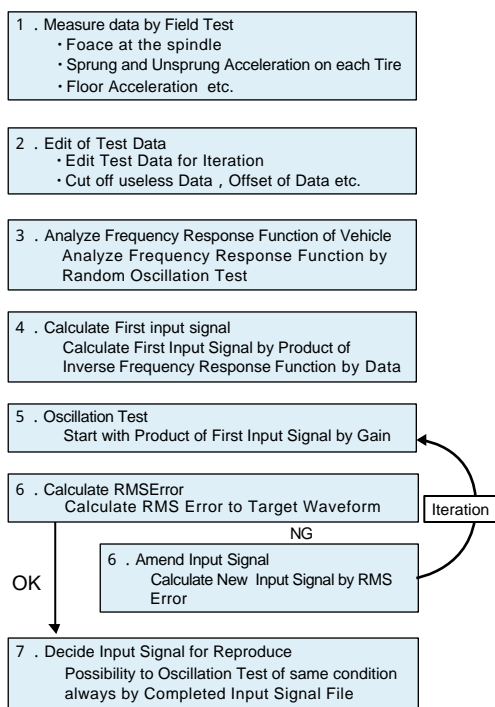


Fig.4 Flow Chart to Reproduced

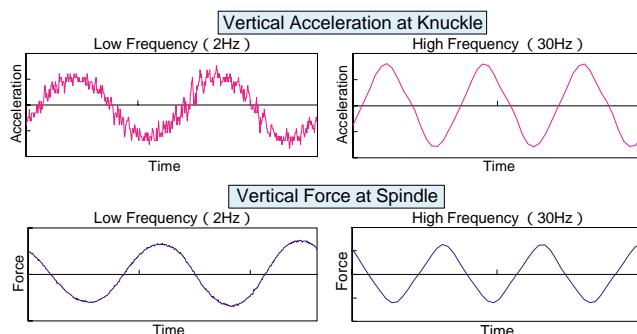


Fig.5 Dependence on Frequency Acceleration Transducer vs. Force Transducer

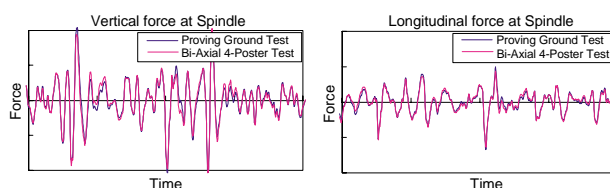


Fig.6 Reproduced Force at Spindle (high frequency)

(3) リモートパラメータコントローラ

これは実走行を再現するための制御ソフトである。スピンドルに入ってくる力や車体の加速度など再現させたいパラメータを、このコントローラで計算/制御することにより、実走時の振動波形に近づけることができる。また、同時にデータの分析/解析ツールも備えており、応答点の周波数分析はもちろんのこと、各輪からの伝達関数も容易に求めることができる。このため、入力の寄与度分析も、従来の20%以下の工数で可能となった。

3.2 実走行の再現

(1) 実走再現方法

実走時の乗心地の再現は本試験機の大きな特徴である。走行している車両の運動状態を加振機上で作り出すことができるため、ベンチ上でフィーリング評価や各部の振動計測が可能である。以下に再現方法を示す。まず、4輪の上下/前後方向のスピンドルへの入力や各応答点の加速度などを実走により計測し、これを再現の目標波形とする。次に車両を加振台に設置しランダム加振を行い、個々の加振台に対する応答点の伝達関数をもとめる。これから逆伝達関数を計算し、目標波形を再現するための加振波形を決定し加振する。その結果の波形と目標波形のRMS Error値(誤差率)から加振波形を補正し、再度加振させ新たなRMS Error値を求める。この加振波形を補正する作業を繰り返すことによって、加振結果の波形を徐々に目標波形に近づけ、実走時の車両運動を再現していく。Fig.4にそのフローチャートを示す。

(2) 再現精度の検証

再現精度の検証は、周波数の網羅性も確認するために高

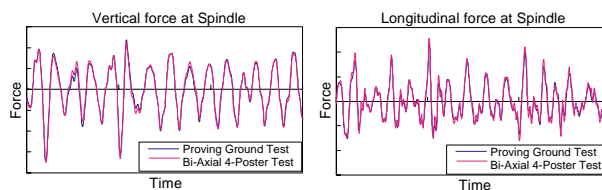


Fig.7 Reproduced Force at Spindle (low frequency)

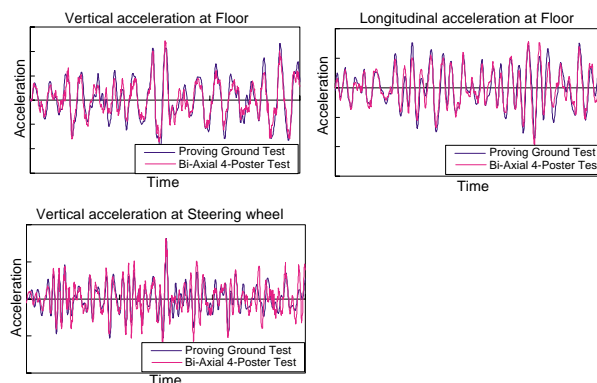


Fig.8 Reproducibility of Body Vibration (low frequency)

周波路面と低周波路面とに分類して行った。一般的に乗心地解析に必要な周波数レンジをもつ加速度計による計測では、Fig.5に示すように低周波域でのS/N比が悪化し精度が不足する傾向にあるため、今回はタイヤ6分力計によるスピンドル荷重を測定し、これを再現の目標波形とした。

まず、高周波の検証には、乗心地評価で頻繁に使用している荒れたアスファルトの路面を選定した。Fig.6に実走

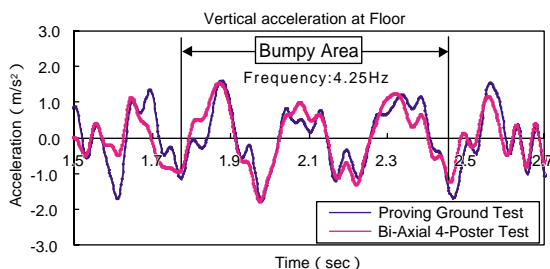


Fig.9 Result to Reproduce Bumpy Ride

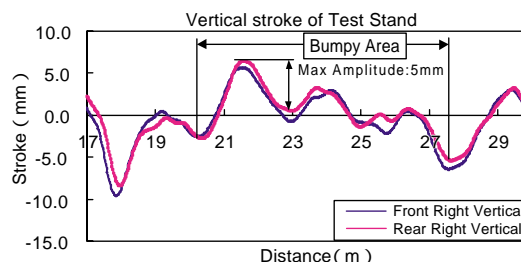


Fig.10 Profile of Bumpy Road

結果と再現結果を比較した時間軸波形を示す。スピンドル上下/前後方向ともに良く一致しており高い再現性を示している。また、誤差率の指標であるRMS Error値も上下方向で5%以下、前後方向で10%以下に抑えられていることから、再現性の高さが実証できた。

次に、低周波で振幅の大きな車両運動(車体のゆれ)を検証するために、凹凸の周期が長い路面の再現を試みた。Fig.7にスピンドル荷重の比較結果を示す。この路面でも上下/前後方向とも良好な結果が得られた。更にFig.8に示すように、この時のフロアとステアリングホイールの振動加速度についても高い再現結果となっており、加振機上の車両に乗り込んだフィーリング評価でも、路面の凹凸によるヨーやロールの運動が実走同様に発生していることが確認できた。このことから、スピンドル荷重を再現の目標波形すれば、低周波のコヒーレンスが向上し、振幅の大きな車両運動も模擬できることがわかった。

4. 開発への適用事例

4.1 バンピーの再現性検証

実走行の車両運動が高いレベルで再現できていれば、乗心地を加振機上で評価/育成することが可能はずである。実際にヨーロッパで発生した現象に適用し、検証した事例を示す。

ドイツのアウトバーン及び一般路走行時では、一見フラットに見える路面であるにもかかわらず、車体が低周波でヒョコヒョコ動くバンピーと呼ばれる現象が問題視されることが多い。現地で計測した振動データを分析すると周波数4.0~5.0Hzの車体の上下振動であった。発生路面に目地等の凹凸が確認できなかったため、路面のわずかな起伏によるものと推測できたが、長い波長の起伏は形状の計測が難しく起振源は特定できなかった。改善策を検討するために、テストコース内での再現を試みたところ、特定の部分を定常走行するとにより、同現象が発生することがわかった。しかし時間にして0.7秒であることと、車速やアクセル開度といった走行条件の違いにより大きければつくため安定した評価は難しく、改善策を決定するためには現地での再評価を余儀なくされることもあった。以上のような背景のもと、この現象を加振機で再現し、ベンチで評価/育

成できる環境づくりを試みた。更に、その時の加振台波形(路面形状)から、バンピーが発生する路面条件を検証した。

まず、テストコース内のバンピー発生路面を実走し、フロアの上下加速度とスピンドル荷重8自由度の計9自由度の応答を計測した。これらについて加振機上でイタレーションを実施し、フロアの上下加速度が実走時のレベルとほぼ合うまで繰り返した。その結果、Fig.9のように実走時で得られたものと同様の振幅/周波数を持ったフロア振動を再現できた。更に加振機上の車両に乗り込みフィーリング評価を実施したところ、実走と同じ振動レベルのバウンスモードが発生し、フィーリングでも高い再現性を確認できた。この加振波形をバンピー評価波形とし、また現地決定したフロア振動の基準を適用することで、バンピーの評価を加振機上で評価/育成することが可能となった。

更に、この時の加振波形を分析した結果がFig.10である。テストコース内のバンピーが発生する路面には、約3m間隔で高低差5mm程度の起伏があることが判明した。接地荷重の違う前後輪とも同じ形状の入力波形となっていることからその信頼性は高い。この路面の起伏を一定の速度で通過することによって4.0~4.5Hzの車体への入力が発生し、これが起振力となってバンピー現象を発生させていたことがわかった。このように、実走の現象を再現した加振波形を分析することにより、測定しにくい路面のプロファイルを解明することも可能となった。

5. 今後の展開

これまでの検討から、4輪2軸加振機を使用することで、実走時の乗心地現象が精度良く再現できることが、各部のデータとフィーリング評価の両面から証明できた。今の段階で、性能の定量化やメカニズムの解析など、乗心地の基礎技術を積み上げる土壌ができたといえる。このことを踏まえ、将来的な展開プランと達成手段を以下にまとめる。

(1) 乗心地開発のベンチテスト化

まず、現在乗心地の育成に使用しているテストコース路面を実走した時の車両運動を加振機上で再現させていく。これにより、同じ車両運動を繰り返し再現できるため、実走時の乗心地現象を精度良く解析できる環境が整う。また、

バンピーのように、市場の限られた路面でしか検討できなかった現象についても、加振機上での再現に取り組み、現象の解析や対策検討をベンチ上で行っていきけるしくみ作りを行う。

(2) 乗心地の定量化

乗心地は10以上の項目に分類されフィーリング評価されている。これらの評価項目のほとんどは複数の応答点の物理的な指標（例えば20Hzのシートの前後加速度とステアリングホイールの上下加速度など）から成り立っている。よって、個々の評価項目においてその構成と寄与度を明らかにし、物理的な指標で表現できるようにしていく。本試験機は実走再現波形から任意の周波数、加振方向、振幅などのパラメータについて特定の成分だけを抜き出すことが可能である。この機能を用いて、パラメータの絞り込みにより応答点の振動を抑制していき、応答点の定量的な変化とフィーリングの変化を比較/分析しながら評価項目を定量的な指標で表現していく。

(3) 関連部品へのカスケード

今までは各項目の現象（ゴツゴツ感など）が発生しているときの運動条件（周波数、振幅、振動モード）が完全に説明されていなかったため、現象とシステム/部品との定量的な関連づけが難しかった。しかし、(2)の取り組みにより現象が定量的な指標で表現できれば、テスト結果を蓄積し分析することにより、現象と部品特性との関連づけを定量的に行うことができる。更には、モーダル解析などを併用して、現象が発生している時の部品の運動を解析し、現象全体のメカニズムを解明していく。

6. おわりに

以上、乗心地開発のために導入した4輪2軸加振機の紹介とこれまでの成果を報告した。この試験機は導入してからまだ日が浅く十分な検討はできていないが、そのポテンシャルの高さを確認することができた。今後の展開により、乗心地の量産開発や技術開発に大きな成果をもたらすことが期待できる。

最後に、この設備の導入に、多大なるご協力をいただいた、エムティエスジャパン(株)殿をはじめ関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 田村ほか：車両の耐久強度解析手法の開発，マツダ技報 No.20 (2002)

著者



水島裕文



森田俊樹



兼品直和

論文・解説

29

マイクロ波帯EMC設備の紹介

Introduction of EMC Equipment for Microwave Band

上垣内 良三*¹ 波津久 哲士*² 網本 徳茂*³
 Ryouso Kamigauchi Tetsushi Hazuku Norishige Amimoto
 八塚 誠司*⁴ 宮原 勝三*⁵ 清水 昌則*⁶
 Seiji Yatsuka Katsumi Miyahara Masanori Shimizu

要約

最近はマイクロ波を使う携帯電話や自動料金収集システムといった機器が著しく増加している。このために、マイクロ波帯のEMC (Electromagnetic Compatibility) 対策が強く求められてきている。また、関連規制法も検討されている。これらの動向を踏まえ、マイクロ波帯のEMC設備を導入した。

EMCテスト設備は、EMS (Electromagnetic Susceptibility)、EMI (Electromagnetic Interference) の評価用に分けられる。EMS評価は、外来ノイズに対する機器の耐ノイズ性を評価するものである。従来の変調方式に加え携帯電話等で使用されているデジタル変調にも対応している。EMI評価は、車載している電装品から発生するノイズの強度を評価するものであり、各種国際規格に対応できるものとなっている。

Summary

The number of equipment such as cellular phones or Electric Tool Collection system, which uses microwave, is now on the remarkable increase. For this reason, EMC (Electromagnetic Compatibility) measurements for microwave bands have been strongly requested. Moreover, the possibility of execution for the regulations system will be forecast in the near future. EMC equipment of the microwave band has been introduced so as to meet these trends.

The intended use of EMC test equipment are divided into evaluations of EMS (Electromagnetic Susceptibility) and EMI (Electromagnetic Interference). The EMS equipment evaluates the immunity of vehicle electronics systems from noises coming from an outside vehicle, which accommodates digital modulation used by the cellular phone in addition to conventional modulation methods. The EMI equipment evaluates the magnitude of the noise generated from the on-board vehicle electronics systems, and can meet various international standards.

1. はじめに

近年の自動車は、「走るコンピュータ」と呼ばれるように、数多くの電装品を搭載している。また、これら電装品は利便性のためだけでなく、「走る」「曲がる」「止まる」といった自動車の基本性能や「安全」に関係する重要なシステムにも採用されており、その信頼性確保はますます重要になっている。これらの電装品の信頼性に対しては、多くの厳しい評価項目がある。その中で電装品特有の信頼性評価項目として電磁気環境適合性 (Electromagnetic

Compatibility : 以下EMC) がある。なお、ここでいう電磁気とは、空中に存在する電磁波 (単に電波ともいう) と、電線等に流れる電流や電圧の総称である。

1.1 EMCとは

EMCとは、放送波等信号や不要な電磁気ノイズ (以下ノイズ) が混在する電磁気環境と電装品との関わり合いであり、以下の二つの性能を両立することである。

- ① EMS性能 : 外から来るノイズに対し影響を受けない性能 (Electromagnetic Susceptibility : 以下EMS, 単にImmunity「イミュニティ : 免疫性」と呼ぶこともある)

* 1 ~ 3 電子開発部
 Electrical & Electronics Development Dept.
 * 5 R & D業務効率化推進部
 R&D Administration Innovation Dept.

* 4 MNAO
 Mazda North American Operations
 * 6 プラント技術部
 Plant Engineering Dept.

で、例えば、放送局からの電磁波等により電装品が影響を受けない性能のことである。

- ② EMI性能：自ら発生するノイズが他の電装品やテレビ受信機等に影響を与えない性能（Electromagnetic Interference：以下EMI，単にEmission「エミッション：放出」と呼ぶこともある）で、一般的な例としてはラジオへのノイズやエンジンの点火系部品からのノイズによるテレビ映像の乱れがある。

つまり、電装品とノイズ（電磁気環境）の両方が存在しないと、EMCの問題は発生しないのである。

1.2 電装品とEMCの歴史

自動車創成期頃にはモータやランプなど単純な構造の電装品がほとんどで、EMCも問題となることはなかった。ところが、電装品よりも先に発達した一般家庭で使われる電化製品により、EMIが注目されるようになった。1950年代よりテレビが普及し、それに伴い自動車から発生するノイズの抑制が要求されるようになった。特にエンジンの点火系部品から発生するノイズが社会的に問題となり、1960年代よりアメリカ・カナダ、ヨーロッパでEMI規制が始まった。マツダでもEMI規制の対応として、三次試験場に専用の実験場を設けている。また、サプライヤと共同開発して非常に有効な対策技術を開発できた。この技術はEMI規制だけでなく車載ラジオへのノイズ混入抑制に貢献した。

1970年代から1980年代にかけて、マイクロコンピュータに代表される電子技術の発達によりエンジン制御やステアリング制御、ブレーキ制御、エアバック制御といった自動車の重要部品や安全装置に電装品が採用され始めた。しかしマイクロコンピュータ等の電子部品は比較的ノイズの影響を受けやすい弱点があり、放送波等の混入によるEMSが問題となった。マツダでは1981年にEMS性能評価には不可欠な電波暗室を導入した。この電波暗室とは電磁波的な無響室のことで、室内に電磁波的に無限空間を再現するために、内外の電磁波を遮断し、かつ、壁面で電磁波を吸収させるという特殊な設備である。その当時EMS開発の中心設備として活躍した。

また、1980年代後半より電装品のコンピュータ化が普及し、更に、電磁波利用が身近なものになりつつあった。このような背景から、今までのEMI規制と併せてEMSを規制するEMC規制が1997年ヨーロッパで始まり、その後日本を含め各国で規制化となった。1981年に導入した電波暗室は小型であり、またその関連設備では発生電界強度が小さいことなど規制に対応できなかった。そこで1993年に導入したのが中型電波暗室等のEMCテスト設備である⁽¹⁾。

1.3 マイクロ波帯への移行

EMC規制を検討していた当時には、ラジオやテレビの地上放送局、800MHz帯の携帯電話を含む一般的な無線機を主な対象としていたため、規制の上限周波数は1GHzまでとなっていた。ところがここ最近では、利用周波数帯の逼

迫や電子技術の発達により、マイクロ波帯への移行が進んできている。代表的なものとして、デジタル携帯電話（1.5GHz、2GHz）やITS（Intelligent Transport Systems）に含まれる自動料金収集（Electric Toll Collection）システム（5.8GHz）などである。このマイクロ波とは波長がセンチメートル（1～100cm）の範囲にある周波数の総称であり、一般的には300MHz～30GHzの電磁波である。このような背景から、規制の上限周波数見直しが検討されている。

マツダでは実機や実機を模擬した物で評価・開発していた。しかし、これらでは規制の設備要求を満足しないため、規制化に対応し、マイクロ波帯の評価を可能とするよう、2000年にEMSテスト設備、2003年にEMIテスト設備の能力を18GHzまで拡張した。以下にこれら設備の紹介をする。

2. EMSテスト設備

EMSテスト設備は、信号発生器・高周波アンプ・電力計・アンテナ・電界センサ・ケーブル・コントローラから構成される（Fig.1）。この設備は、マイクロ波特有の問題である伝送損失を極力抑えるため、信号発生器からアンプまでを一体化しテスト室内に設置することで、放射アンテナと最短で接続できる構成としている。このため、放射した電磁波で自らが影響を受けないよう、各部にシールドを施すとともに、計測室にあるコントローラとは50mに及ぶ光ファイバーで接続し、システム全体を制御している。

以下に、今回導入した1G～18GHzの周波数帯の電磁波発生装置について紹介する。この設備は、ISO11451-

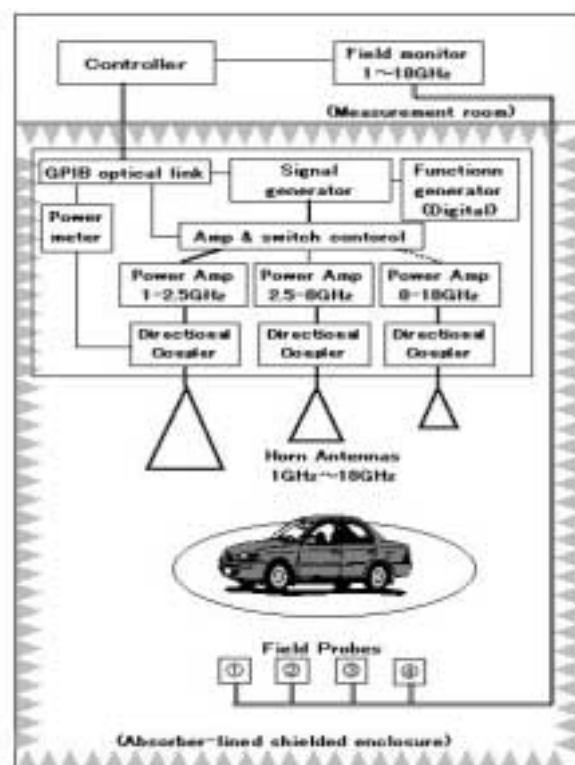


Fig.1 EMS Test Equipment System

2:Road vehicles-Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy-Part 2 : Off-vehicle radiation sources に準拠した設備である。

2.1 信号発生器

携帯電話等で使用されている主要な周波数，変調方式に対応できるものとなっている。

2.2 高周波アンプ

信号発生器からの電磁波を，所要の強さまで増幅するものである。広帯域かつ大出力が必要であり，帯域を3分割して3台のTWT（進行波管）による真空管アンプで構成している。

2.3 電力計

アンプからの電力を測定するため，方向性結合器を用いて進行電力・反射電力の測定を行っている。アンテナ系の不具合で反射電力が一定レベルを超えると，電波の発射を停止させる保護機能も持たせている。

2.4 アンテナ

電波の出口であるアンテナは，高周波アンプと同じ周波数帯の3種類のを導入した。また，少ない電力でも強い電界の電磁波が発生できるように，非常に効率の良いものとなっている。

2.5 電界センサ

アンテナから放射した電磁波の強度を測定するためのマイクロ波専用の電界センサであり，同時に4カ所の電界計測が可能となっている。

2.6 コントローラ

各種規制のテストモードを自動的に行うため，パーソナルコンピュータによるシステムを構築している。これによりEMS計測の効率化を図っている。

3 . EMIテスト設備

CISPR12 : Vehicles , motorboats , and spark-ignited engine-driven devices-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement (CISPRとは国際無線障害特別委員会のことであり , フランス語のComite International Special des Perturbations Radioelectriquesの略語) , および , CISPR25 : Radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles , boats , and on devices-Limits and methods of measurement に対応したEMI設備として , 150k ~ 18GHzの電磁波計測システムの紹介を以下にする。

このシステムの基本構成は , レシーバ , アンテナ , プリアンプ , コントローラから成る (Fig.2)。

3.1 レシーバ

レシーバは , 電装品から放出するノイズの強度を測定する広帯域受信機である。

電装品から放出されるノイズは , 広帯域ノイズと狭帯域ノイズに分類される。広帯域ノイズは , 点火系やモータのブラシから出る , 広い帯域の周波数成分を持つ電磁波である。狭帯域ノイズは , 主にコンピュータから出る , 特定の周波数のみの電磁波である。CISPR12やCISPR25では , 狭帯域と広帯域ノイズに対しそれぞれ異なる許容値を規定している。

今回導入したレシーバは , 尖頭値 (ピーク) 検波 , 準尖頭値検波 , 平均値検波でノイズ強度の測定を行うことにより広帯域 / 狭帯域ノイズを判別することができる。測定範囲は , 20Hz ~ 26GHzである。

3.2 アンテナ

150k ~ 18GHzの電界を測定するため , 三つの帯域に分けたアンテナを使用する。150 k ~ 30MHzではモノポールアンテナ , 30 M ~ 1GHzではトリログアンテナ , 1G ~ 18GHzではホーンアンテナを使う。また遠隔で , 水平 , 垂直の偏波 , アンテナ高さを調節できる。

3.3 プリアンプ

プリアンプは , レシーバの直前 (アンテナの直下) に取り付け , 微弱なノイズの増幅を行うものである。これは電装品から発生するノイズが低レベルのため , レシーバの感度やアンテナの効率を良くしてもこの許容値までの測定ができない場合がある。このために高利得で低雑音のプリアンプを選定することで , 微弱なノイズの測定を可能とした。

3.4 コントローラ

パーソナルコンピュータに自動測定システムを導入して , レシーバやアンテナの制御を行うことでEMI自動測定を実現している。

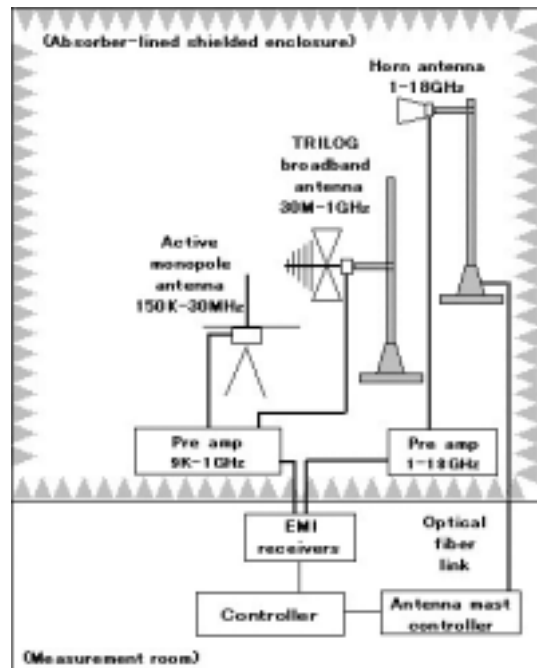


Fig.2 EMI Test Equipment System

4. おわりに

今後の動向としてマイクロ波を超えミリ波領域(30G~300GHz)の利用が活発になって来ている。例としては、車間レーダ(76GHz帯)がある。今後この設備を有効に活用し、マイクロ波領域のEMCを確保して、規制に対応するという社会的責任を果たすことはもちろんのこと、今以上のマツダ車の信頼性向上に役立て、そしてミリ波まで見据えた技術開発が急がれる。また、従来の内燃機関に代わって電気をエネルギー源とした自動車が実用段階にきており、電装品の信頼性確保のためEMC技術の向上は最重点課題といえよう。更には、新しい評価技術・シミュレーションを利用したVirtual Testingにより、安全で環境にやさしい新しい自動車の発展への貢献も推進して行く必要がある。

参考文献

- (1) 上村 他：EMC設備の紹介，マツダ技報No.12，
P.187-191 (1994)

著者



上垣内良三



波津久哲士



網本徳茂



八塚誠司



宮原勝三



清水昌則

論文・解説

30

スポーツATステアリング シフト スイッチの開発

Development of Sporty Automatic Transmission Steering Shift Switch

吉河和彦*¹ 大坪善徳*² 國廣真吾*³
 Kazuhiko Yoshikawa Yoshinori Otsubo Shingo Kunihiro

古川浩二*⁴ 松岡信宏*⁵ 菅野裕二*⁶
 Kouji Furukawa Nobuhiro Matsuoka Yuji Sugano

要約

マツダのDNA “スポーツドライビングプレジャーを創造するスポーツカー価値” を目指すRX-8にふさわしいスポーツATステアリング シフト スイッチを開発したので紹介する。

- (1) 操作方式；スポーツカーとして「素早く」「正確な」操作を具現化するため体を感じる加速方向と一致した操作方式を採用した。
- (2) レイアウト；最適なステアリングシフト操作を達成するために机上検証と走行テストの中で1/10mm単位の調整を繰り返し最適形状とした。
- (3) 剛性感；シフトアップスイッチは剛性感を出すため構造検討を重ね、樹脂を使いながらも金属無垢材相当の剛性感を実現した。
- (4) カスタマーディライト；シフトアップスイッチには金属の厚メッキを施すことで金属無垢材に匹敵する手触りと見栄えを持たせた。また、夜間走行での良好なシフト操作実現のため、シフトダウンスイッチ/シフトアップスイッチに最適な照明を採用した。

Summary

We have developed a sporty automatic transmission steering shift switch suited to the RX-8 whose aim is to deliver “sports car value to create sports driving pleasure”, which is known as Mazda’s “DNA”. Here is its introduction:

- (1) Operation method: To materialize “quick” and “accurate” operation as a sport car, we have adopted the operation method which matches direction of gravity that a driver feels during acceleration/deceleration.
- (2) Layout: To achieve optimum steering shift operation, we determined the optimum shapes by repeatedly adjusting their dimensions in increments of 1/10 mm during desk checks and field tests.
- (3) Rigidity: Through several structural studies, we have achieved “rigidity” of “UP” switch equivalent to that of solid metal material even by using nylon resin.
- (4) Customer delight: By applying thick metallic coating to “UP” switch, we succeeded in giving the switch feel and appearance comparable to those of solid metal material. Moreover, to realize the good shifting operation for nighttime driving, we have adopted optimum illumination for “DOWN” and “UP” switches.

* 1, 2 電子開発部
 Electrical & Electronics Development Dept.
 * 4 車両実研部
 Vehicle Testing & Research Dept.

* 3 コンセプト・プラットフォーム基本設計部
 Concept/Pre-Program Platform & Program Engineering Dept.
 * 5 プロダクションデザインスタジオ * 6 シャシー開発部
 Production Design Studio Chassis Development Dept.

1. はじめに

スポーツカーを中心に、市場ではステアリング（以下STG）ホイール近傍にシフト操作を行うためのスイッチ（以下SW）を設定した車両が増加している。STGホイール近傍にシフトSWを設定することで、STGホイールから手を離さずシフト操作でき、操作の負担を軽減することができる。さらに操作時間の短縮が可能となることで、より素早く、正確なハードドライビングが期待できる。

RX-8は、マツダのDNAをフルに体现した運動性能によって、より多くのドライバに、スポーツカーならではの人車一体のドライビングプレジャーを提供することを目指した。それらをサポートすべくSTGシフトSWを開発し搭載したので、以下にその概要を紹介する。

2. 操作方式

2.1 操作方式

シフトアップやシフトダウンの操作方向は直感的に分かりやすく、シフトミスが少ないようにすることが重要である。シフト操作の方向は、シフトSWを採用している車を用いて市街地、ワインディングロードを走行し、手の動きや体に感じる加速度から次のような考え方で決めた。

一般的にコーナリングにおける走行は、コーナ手前で充分減速して、クリッピングポイントを通り過ぎた辺りから加速の動作に入る（Fig.1）

この時に体に加わる加速度は、減速時には前方向に、加速時は後方に働く。このように体に感じる加速度方向に一

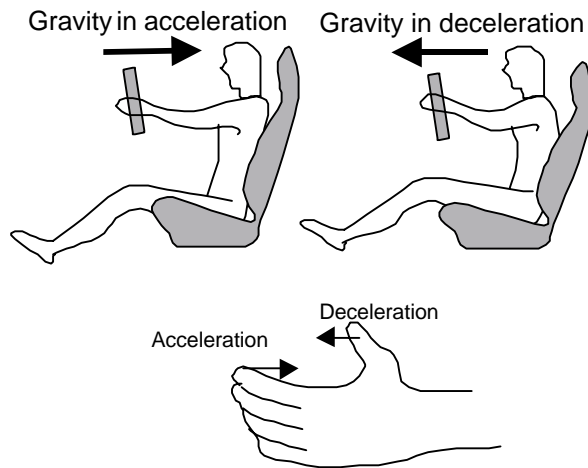


Fig.2 Concept on Direction of Shift Operation

致した操作方向にすべく、シフトダウンは前方に押す操作とし、シフトアップはSTGホイールの背面で後方に引く操作とした（Fig.2）。

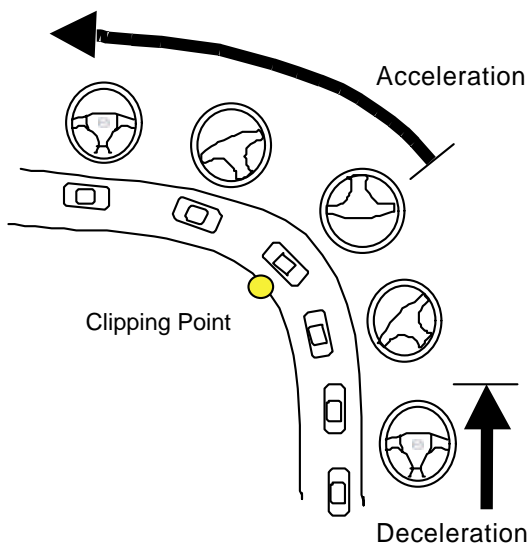


Fig.1 Cornering

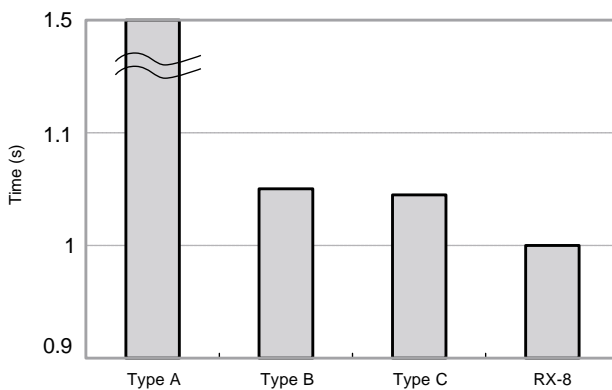


Fig.3 Comparison of Operating Time

このRX-8の構造と他の3タイプ(A, B, C)の操作時間を比較すると、RX-8で採用した方式の操作時間が最も速いことが分かる (Fig.3)。

2.2 配置/大きさ

SWの配置, 大きさの検討に当たっては, 「素早く」, 「正確」に操作できることを目指した。

STGホイール近傍にはレバータイプのSW (ライト, ワイパー) やSTGホイール上にはオーディオSW, オートスピードコントロール (以下ASC) SWがあり, ワークスペースやリーチ等の制約条件がある (Fig.4)。この制約条件と, アップSW / ダウンSWの操作性をいかにして両立させたかを次に述べる。操舵中のブレーキは, スピンなど車両挙動を乱すことにつながるため, シフトダウン操作は, コーナリング前のブレーキ時に行われる。このブレーキ時のSTGホイール位置は, 直進~小舵角の位置にあり, ドライバのSTGホイールの握りも直進時と同じ位置である。

この理由から, シフトダウンSWの配置は, ドライバがSTGホイールの9時15分~10時10分の位置を握って親指で操作できる左右のスポークの上方へ設定し, 操作リーチ(a), 操作部の大きさ(b), (c), STG操作時の指ぬき性要件(d)を満

足させる形状とした (Fig.5)。

一方, シフトアップ操作は, コーナリング時にも行うものであり, STGホイールが直進状態とは限らない。素早い操作を行うためには, STGホイールから手を放さずにアップSWを操作する必要があり且つ, 操舵時にSTGホイールを持ち替えている場合もあるので, STGホイールのどこを握っていても操作できるものがよい。

一部のラリーカーの中には, STGホイールの全周にリング状のSWを設け, STGホイールのどこを握っていてもシフト操作が行えるようにしたものも存在するが, 市販車の場合はメータ視界を確保しなければならず, 最大限設定できてもSTGホイールの下半周の範囲となる。

これらの要件より, 半周つないだもの及び3ヶ所につけたものを最初に検討した (Fig.6)。

しかし, STGホイールの6時位置付近については, 乗降時にドライバの膝と干渉する恐れがあり設定できない。

以上のように操作性からは, より広範囲で操作できる大きなSWが望ましいが, 実際の使用に当たっては乗降時やペダル操作時の膝当たりの問題があるため, 簡易モデルの試作や走行評価を繰り返すことで, 実際の走行時の握るSTGホイールの位置を明確にし, 左右コーナリング中でも確実な操作ができるようにするためにシフトアップSWは左右に設定することに決定した (後述のFig.11)。

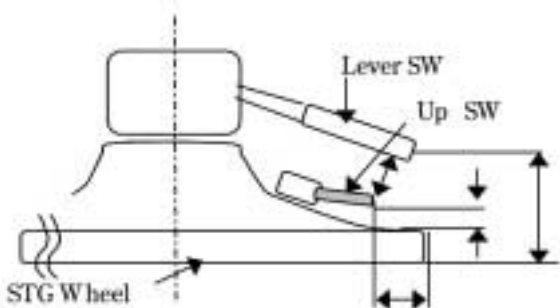


Fig.4 Limiting Conditions around UP Switch

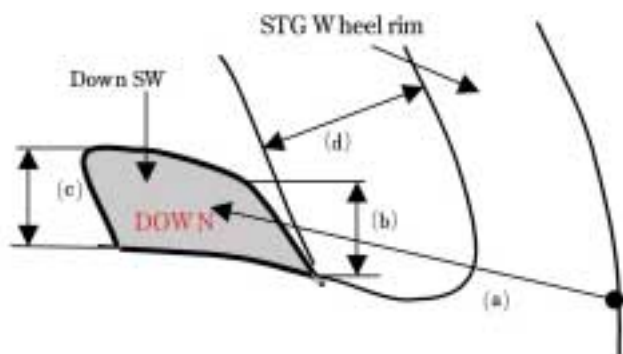
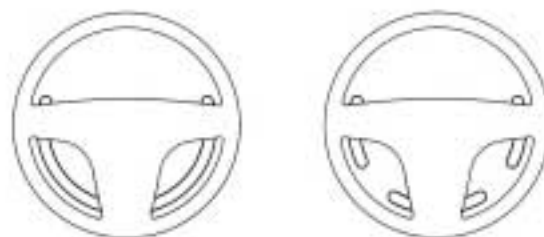


Fig.5 Work Space Requirements of DOWN Switch



A switch designed along the half of a steering

Switches designed in three places

Fig.6 Shift UP Switches without Sacrificing Cluster Visibility

3. デザイン

3.1 造形の狙い

STGホイールにおいてはスポーツカーとしてのエキサイトメント、走りにこだわった形状を徹底して追求した。バランスと使いやすさを表現した。

アップSWはパドル形状を採用し、STGコアカバー（スポーク部裏）に配置。パドル裏側形状は指先が滑らず確実に操作できるようネガ面とした（Fig.7）。

ダウンSWはオーディオSW及びASC-SWベゼル上部に配置し、SWベゼルの造形とバランスを図り基本面をえぐった形状で親指の操作ポイントを明確に表現した（Fig.8）。

3.2 質感向上のための色検討

SW色はインテリア各部に採用しているシルバー色とし黒色のSTGホイールとのコントラストを明確にし軽快でメカニカルな印象を際立たせている。シルバー色については輝度感を高めアルミの輝きに近いアピランスを実現した。

3.3 デザインスタディー

STGシフトSWはマツダとしては2000年のRX-EVOLV（Fig.9）、2001年のRX-8のショーカー（Fig.10）で具現化している。量産デザイン開発ではこれらショーカーで示したデザインモチーフをベースに詳細の機能要件、設計要件を織り込みデザイン形状のリファインを行った。

デザインと機能性の成立のためダウン側ではメータの視界、ライトSW、ワイパーSWの視認性要件を満足し、またSTGスポーク上のオーディオSW、クルーズSWの操作性を妨げない等多くの要件があった。その中で1/10mm単位の変更を重ね形状をまとめた。アップ側では設計、パドルレバー長さについて操作性とデザインとのバランス取りの検討を行い最終デザインに決定した（Fig.11, 12）。



Fig.7 UP Switch



Fig.8 DOWN Switch



Fig.9 RX-ELOLV



Fig.10 RX-8 Show Car

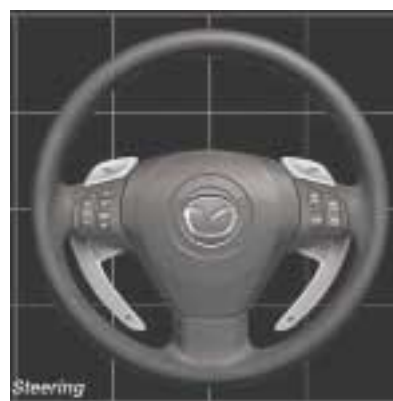


Fig.11 Design Proposal of Long Length UP Switch



Fig.12 Final Design

4. SW操作感とカスタマーディライトの開発

上記構想を実現するために以下の観点で、SW操作感と、お客様の期待を上回るカスタマーディライトを開発した。

4.1 スポーツドライビングに対応する操作性の実現

素早い操作を必要とするダウンSWの操作ONストロークはSTG上のオーディオSWやASC-SWの1.5mmに対し1.2mmと小さくした。さらにメリハリのある操作感を出すためにこれらのSWより操作力を約40%重く設定した。一方、薬指と小指による操作を想定したアップSWは、しっ

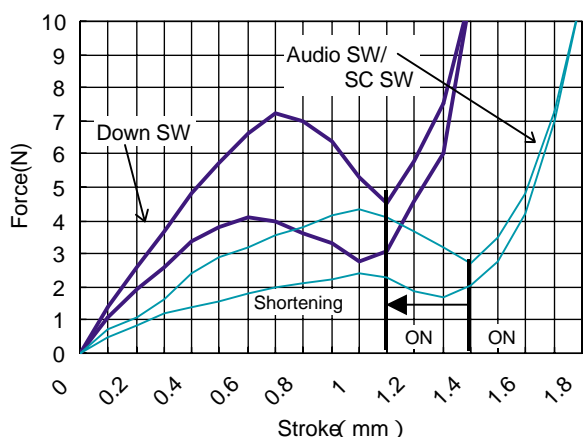


Fig.13 Comparison of F-S Characteristics

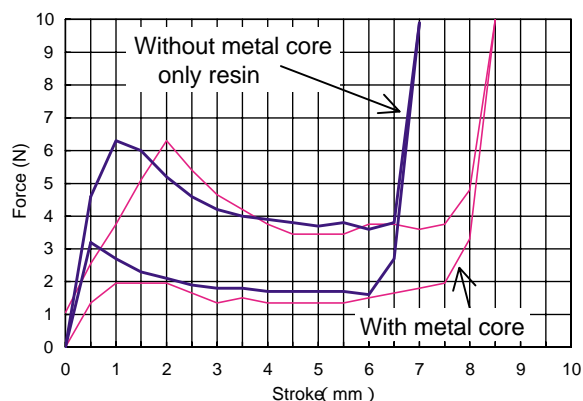


Fig.15 Comparison of Rigidity of UP Switches with/without Metal Core

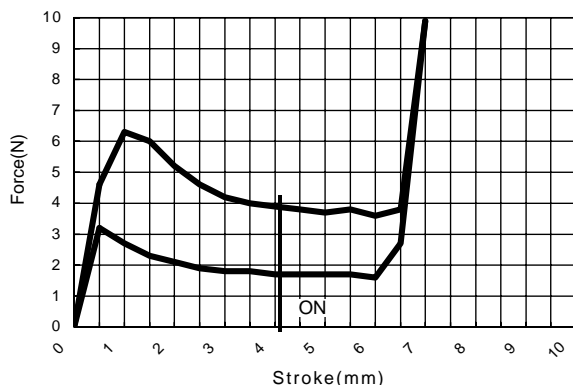


Fig.14 F-S Characteristics of UP Switch

SW操作部は期待以上の剛性を確保できたがSWをSTGホイールに装着した状態ではSWボディ部とSTGホイールへの締結部間での剛性不足により満足いく操作感が得られなかった。このためSWボディ部を金属ブラケットで覆う構造とすることで剛性を約40%アップさせ操作感を改善した (Fig.16)。

4.3 カスタマーディライトの開発

金属的な手触り感を持たすための、アップSWへの金属無垢材の採用は、前述の熱害問題により見送った。しかし、熱害問題をクリアさせながら金属的な手触り感と見栄えを持たせることを狙い、クロムメッキによる表面仕上げの下地にニッケルと銅の金属2層の厚メッキを施すことで熱害問題に対応し、且つアルミ無垢材に匹敵する金属的な手触り感を実現させた (Fig.17)。熱害問題に対しては、パネルーによる感応評価と測温データにて問題のないことを確

かりした手応え感を作るために操作ONストロークを4 mmと大きく設定した (Fig.13, 14)。

4.2 SW構造の選定

開発初期には、アップSW操作部をアルミ無垢材で製作することを想定していた。しかし、炎天下放置状態では、操作部表面温度が高温となり且つ熱容量が大きいためすぐには温度が下がらず、操作が困難となる熱害問題が判明した。これによりアルミ無垢材の使用を見送り樹脂材に切り替えた。

樹脂への切り替えに伴い、剛性感を増すために樹脂の中に金属製強度部材を芯材として入れる構造と、樹脂のみによる成型構造での剛性について比較検討を行った。樹脂のみによる成型構造の方が10%ほど高い剛性が得られた。これは操作部の形状が複雑で且つ薄いため効果的な強度部材の配置が十分でなかったこと及び強度部材と樹脂の密着性の確保が困難であったためである (Fig.15)。



Fig.16 Structure of Metal Bracket

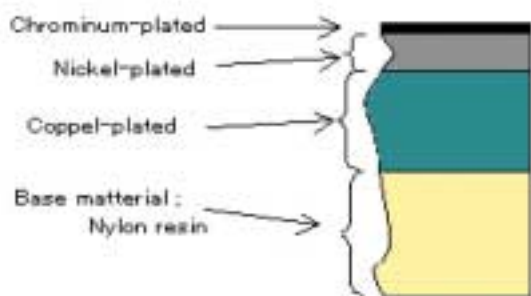


Fig.17 Material and Plating Structure of UP Switch

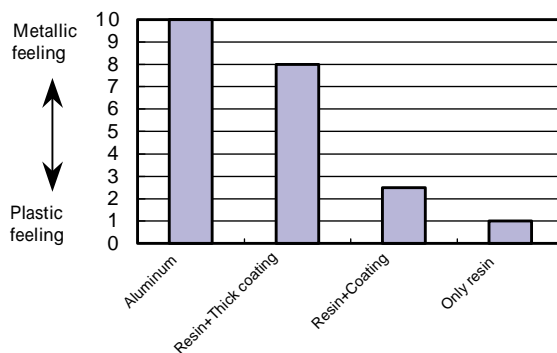


Fig.19 Evaluation of Metallic Coldness of UP Switch

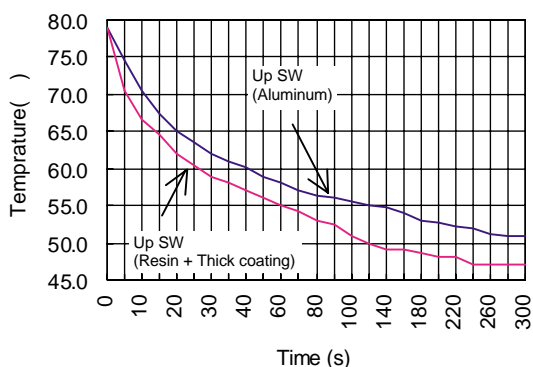


Fig.18 Comparison of Temperature Measurement of UP Switches



Fig.20 Nighttime Illumination of DOWN/UP Switches

認した (Fig.18)。金属感を定量的に表現する方法として、常温にて樹脂無垢材を触った時に感じるプラスチック的な温度感を1とし、アルミ無垢材を触った時に感じる金属的な温度感を10と定義した後、アップSWレバー形状に試作した各材質サンプルを複数のパネルにて実際に触って評価した (Fig.19)。その結果、金属に近い仕様に仕上がっていることが確認できた。

さらに夜間における良好なシフト操作と、照明による気持ちの高揚を演出するためダウンSWには透過照明を、アップSWにはSW全面を柔らかく浮かび上がらせる間接照明を配した (Fig.20)。

5. おわりに

ステアリングや周辺SW類の操作性、メータ視認性などを犠牲にすることなく、優れた操作性や高い商品性を織り込むという困難な開発であったが、お客様に満足して頂けるものに仕上げることができた。開発にご協力頂いた(株)東海理化をはじめとする社外の関係者各位に感謝の意を表します。

著者



吉河和彦



大坪善徳



國廣真吾



古川浩二



松岡信宏



菅野裕二

論文・解説

31

設計者向けCFDシステム (PT-ECS) の開発 Development of "PT-ECS": CFD Analysis System for Design Engineers

横 畑 英 明*¹ 本 郷 均*² 植 木 義 治*³ 堀 川 浩 司*⁴
Hideaki Yokohata Hitoshi Hongou Yoshiharu Ueki Kouji Horikawa
三 村 光 生*⁵ 中 谷 修 二*⁶ 石 原 卓 哉*⁷ 前 田 茂 樹*⁸
Mitsuo Mimura Shuji Nakatani Takuya Ishihara Shigeki Maeda

要 約

エンジンの開発期間短縮, 品質向上という流れが加速する中で, エンジン性能を予測する際に欠かせない Computational Fluid Dynamics (流れ解析, 以下CFD) はますます活用ニーズが高まっている。しかし, 使いこなすためには高度なノウハウが必要なことから一般的に「CFDは解析専任者が使うもの」との認識がある⁽¹⁾。この現状を改善するため, 市販CFDソフトSTAR-CDをベースに, パワートレイン向けの解析ノウハウを詰め込んだ Pre/PostシステムであるPower Train-Easy CFD System (以下PT-ECS) を開発した。本システムを用いることにより, パソコンから誰でも簡単にCFDを使って高度な解析が可能になる。本稿ではシステムの内容と, 活用した効果について報告する。

Summary

With the acceleration of the reduction in lead-time for engine development process and the improvement in quality, the needs for practical use of CFD are in the increase as a tool indispensable to the prediction of engine performance. However, there is general recognition that CFD is the tool for specialists, because it requires high expertise for highly effective use. For the break-through of the actual situation, we have developed "PT-ECS"; that is, a peripheral system for STAR-CD which is loaded with know-how for Powertrain analysis. With this system, everyone can easily conduct a high quality analysis on their PC. This paper describes the contents of the system and the effects of an application.

1. はじめに

近年, CFD解析技術は急速な進歩を遂げており, エンジンの設計において欠かせないツールになりつつある。更に予測領域が日々拡大しつづけていることもあり, 今後はますます重要になると考えられる。一方, CFDでの解析は一般設計者にとって簡単であるとはいえず, 1次元のエンジンシミュレーションのように設計者自らが解析を行う機会は少ない。つまり, 「CFDは解析専任者が行うもの」という意識から抜け出していないのが現状である。

マツダではコスト, レイアウト等の多くの制約の中で設計しているエンジン開発においては, 「制約条件を把握している設計者自らがCFDを行ってインプロセスで最適な形状を見つけ出す」という開発方法が望ましいと考えている。そのために市販のCFDツールSTAR-CDをベースに「設計者向けCFDシステムPT-ECS」を開発した。本稿では, PT-ECSの機能と活用の現状を紹介する。

* 1 ~ 4 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.
* 6 第2ITソリューション推進部
IT Solution Leadership Dept. No.2
* 8 株式会社ヴァイナス
VINAS Co.,Ltd

* 5 第1エンジン開発部
Engine Development Dept.No.1
* 7 株式会社シーディー・アダプコ・ジャパン
CD-Adapco JAPAN Co.,LTD

Engineering Groups

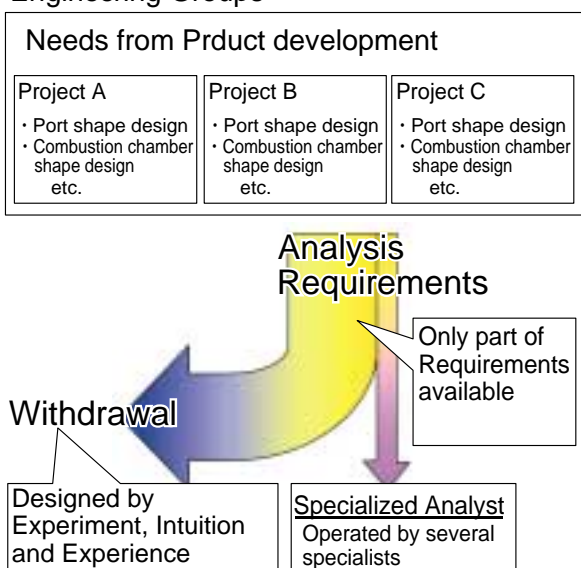


Fig.1 Image of Conventional Way

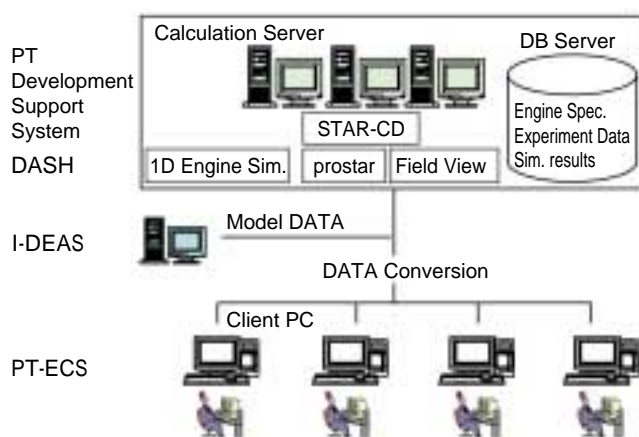


Fig.2 System Structure

2. 開発の経緯

マツダではいくつかのCFDツールを使用しているが、エンジン開発領域で最も日常的に使っているのは代表的なCFDツールの一つであるSTAR-CDである。しかし、機能的には満足できるものの操作・設定が簡単とはいえ、一般設計者が手軽にCFD解析を行うことは難しいため、解析専任者が一手に解析を行っていた。解析専任者は人数が少ないため、エンジン開発の現場から上がる解析ニーズに充分応えられていない状況にあった (Fig.1)。

また、CFD解析を行うには解析精度を上げるためのノウハウが多いため、専任者が解析を行うといってもスキルの差によって結果に差が出ることも多い。

そこで、「CFDを使うための敷居を低くし、設計者自らがCFDを実施し解析件数を大幅に増やす」とこと、「CFD

解析方法を標準化して誰でも高品質な結果を得る」ことを目的にシステム開発を開始した。

2000年に定常流に特化したプロトタイプを完成させ、その後順次機能追加を行って、現在では当社製1次元エンジンシミュレーション⁽²⁾の結果とリンクした非定常解析や、市販のPost ProcessorであるFIELDVIEWとのリンクなどの機能も追加し、エンジン開発の中で設計者が日常的に使うツールとして定着している。

3. PT-ECSの開発方針

マツダの一般設計者にとって、最も馴染み深いコンピュータといえばMicrosoft Windows PC (以下PC) である。EWS (Engineering Work Station) でのUNIX環境はユーザーが増えているとはいえ、万人が使いこなせるとはいい難い。そこで、PT-ECSはクライアントマシンをPCとし、ユーザーはMicrosoft Officeを使う感覚で操作できることを狙った。一方、ソルバ (数値演算実行部) は高速演算が必要なこととCFDツール管理の容易さを狙い、UNIXサーバで演算させることにした。

3次元図面に関しては、マツダの標準3次元CADであるI-DEASで作成したモデルをPCに転送して、PC内でPT-ECSを使って加工することにした。

一方システム開発に関しても、進化の早いCFDツールの改良に迅速に対応できるように、できるだけ簡単に誰もがメンテナンスできるよう工夫している。

マツダのパワートレイン開発では、DASH⁽³⁾と呼ぶシステムを構築し、1次元エンジンシミュレーションをはじめとする予測技術、実験結果やカタログデータなどの各種データベースを1つのシステムから利用できるようにしている。PT-ECSもDASHシステムの一機能として設計している。

4. システム構成

Fig.2にシステム構成を示す。複数台の演算サーバと数百台のクライアントマシンを結び、どのクライアントからもCFDの実行ができるようにしている。もちろんI-DEAS搭載のワークステーションともつながっているため、3次元データはどのPCにでも持ってくるのが可能である。

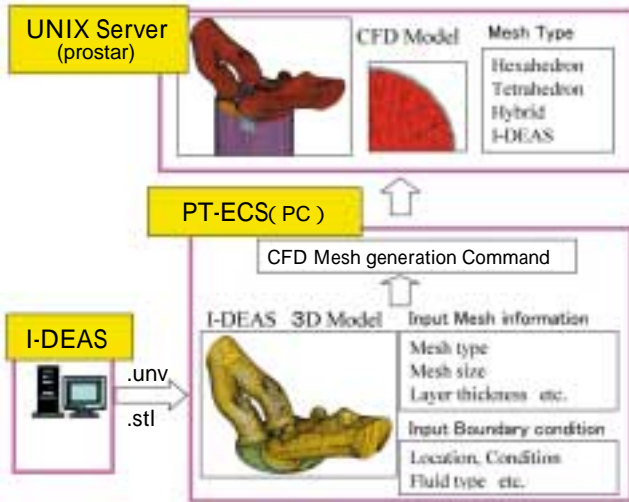


Fig.3 Mesh Generation Procedure

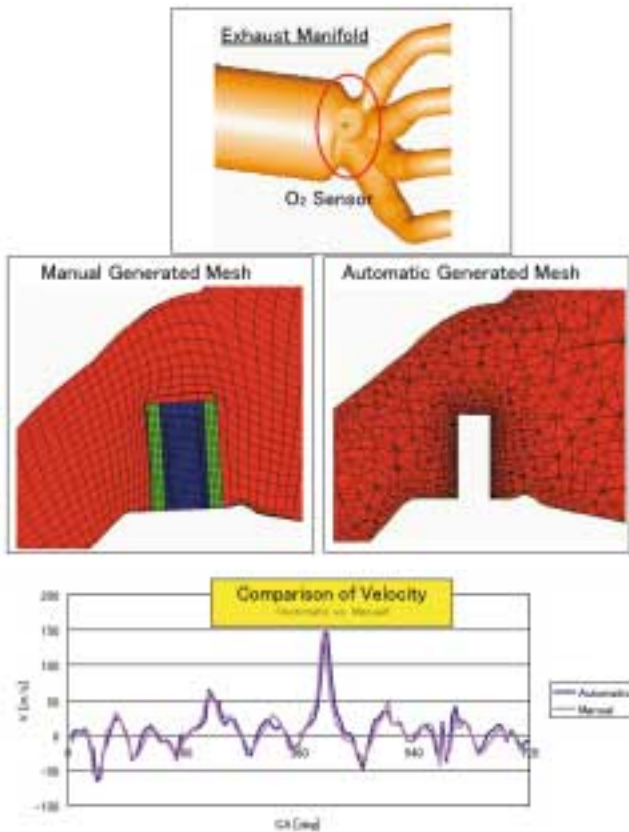


Fig.4 Comparison of Accuracy (Manual vs. Auto Meshing)

5 . PT-ECSの持つ機能

5.1 モデル作成機能

I-DEASで作成した形状データを読み込み、境界面・メッシュ情報を指定してSTAR-CDの標準Pre/Post Processorであるprostarにコマンドを送る。このコマンドを基にprostar側で壁面にレイヤーメッシュを貼り、内部メッシュを切っていく (Fig.3)。メッシュは、手動 (ヘキサ)

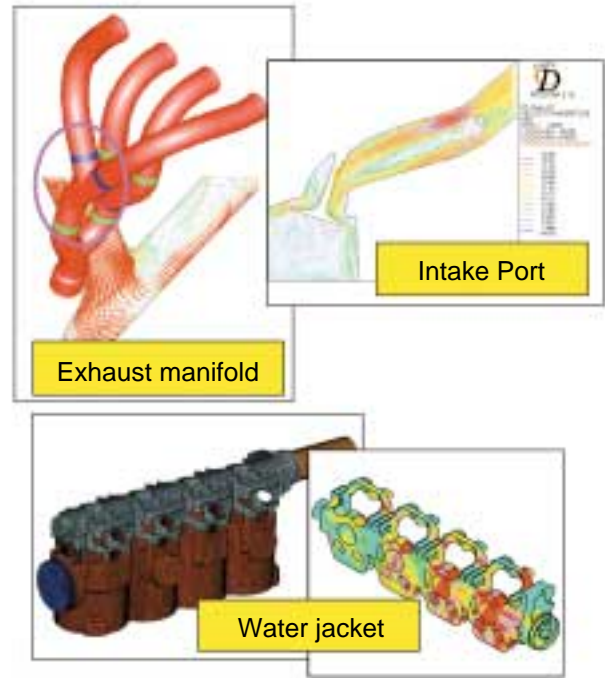


Fig.5 Output Example of Steady State Analysis

全自動 (テトラ) およびこれらのハイブリッドを指定できる。CFDメッシュを切る際にエラーが出る場合に備えて、I-DEASで切った表面メッシュをそのまま使うこともでき、部分的に細かくメッシュを切ることによってメッシュエラー発生を大幅に低減している。またこの方法によりテトラでメッシュを切った場合の精度の悪化防止と計算時間短縮の両立も図っている。例えば、排気系のO₂センサへのガス当たりを例に、従来のようにヘキサで切った場合とI-DEASメッシュをベースにテトラで切った場合の、メッシュおよび流速の比較をFig.4に示す。両者とも解析結果の流速に大きな差はなく、テトラのメッシュを用いても実用精度には問題ないことがわかる。また、内部メッシュを粗くすることで計算時間の短縮も図っている。

5.2 定常解析機能

エンジン性能を大きく左右する吸気系の評価は、リグを用いた定常流でのスワール・タンブル・通気抵抗試験で評価することが多い。また、ウォータージャケット内の水流れのように、定常と見なして評価できる流れも多く存在する。PT-ECSでは、最もベーシックな定常流の解析には標準システムで対応している。出力例をFig.5に示す。

定常においても非定常においても計算時間が解析実行のネックとなることが多いため、マルチCPUでの実行に対応し、1CPU実行時の数倍から十数倍の速度で計算させている。

5.3 非定常解析機能

流れが大きく変動する排気系においては、キャタリストへのガス当たりや、O₂センサへのガス当たりが問題になることが多い。また、吸気系で問題となるEGR分配についても定常計算で精度良い結果を出すことは難しい。これ

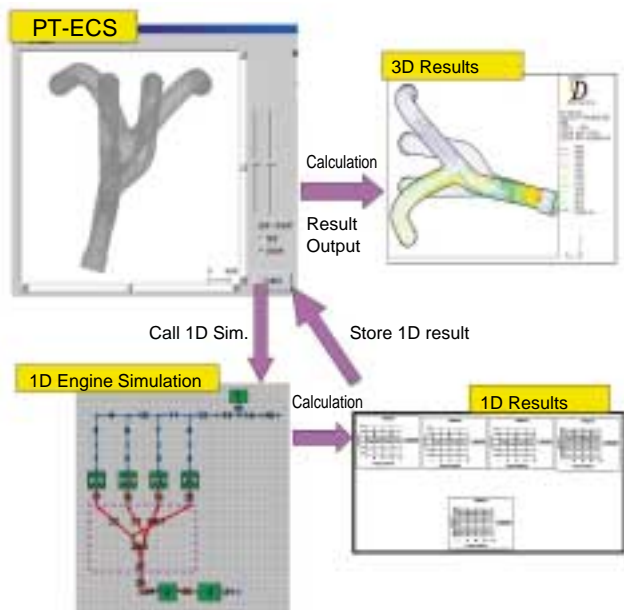


Fig.6 Calculation Flow of 1D + 3D Analysis

らは非定常のサイクル計算で解くことが合理的であるため、PT-ECSでは非定常計算にも対応している。非定常の解析では、事前に1次元エンジンシミュレーションで計算した結果をCFDの境界条件としてスタティックに与える方法と、1次元と3次元を境界部でダイナミックに解いていく方法があり、後者の方が精度的に優れている反面、計算時間がかかりすぎるという欠点がある。現時点のPT-ECSでは、実用的な解析時間を優先して前者のスタティックなリンクに対応している。

PT-ECSの持つ非定常解析の機能は、本システムから1次元シミュレーションを実行させ、その結果を基に自動的にSTAR-CD用の非定常実行ファイルを作成しCFD計算を実行させる (Fig.6)。従来のように、STAR-CDのサブプログラムを組み、1次元結果を加工して設定する、という面倒な作業を無くし、誰でも簡単に非定常計算を行えるようにしている。

また、従来は対象モデル毎に各人のノウハウによってスキームや計算時間刻みなどを最適化する必要があったが、それらをシステムに組み込んだ。具体的には、多くのモデルで条件を変更して計算することで、精度悪化防止と計算の発散防止の両立を図るパラメータを見つけた。それを計算タイプ別 (例えば吸気系・排気系・EGR有無等) にデフォルト値として組み込むことでシステム化している。その結果、人による精度の誤差を最小限にすることができた。

5.4 テンプレートおよびパラメトリック設計機能

通常CFD解析において一部の形状を変更する場合、CADに戻って形状を作り直す必要がある。例えば、「EGRパイプを数センチ移動させた場合の影響を計算したい」といった簡単な検討であっても、一度3次元CADに戻って形状を作り直して再度CFDモデルを作り直す、という面倒な作業が必要となる (Fig.7)。つまり、CFDはあくまで

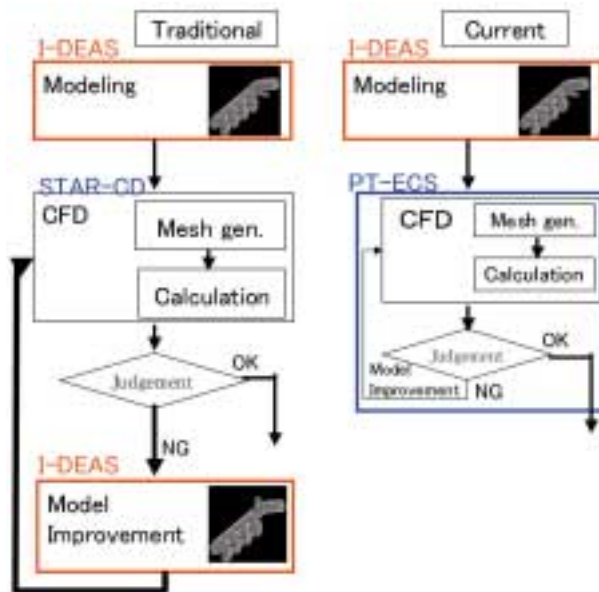


Fig.7 Workflow of Model Revision Using Template Function

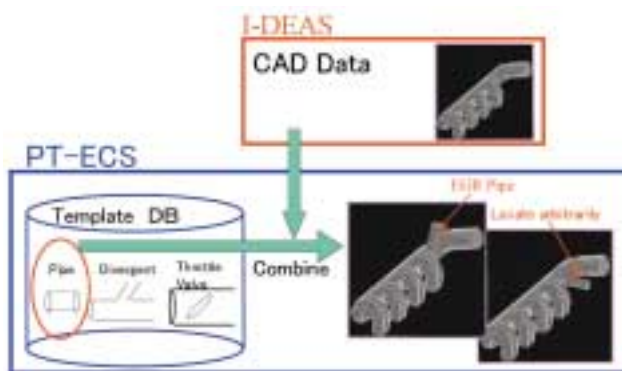


Fig.8 Image of Template Function

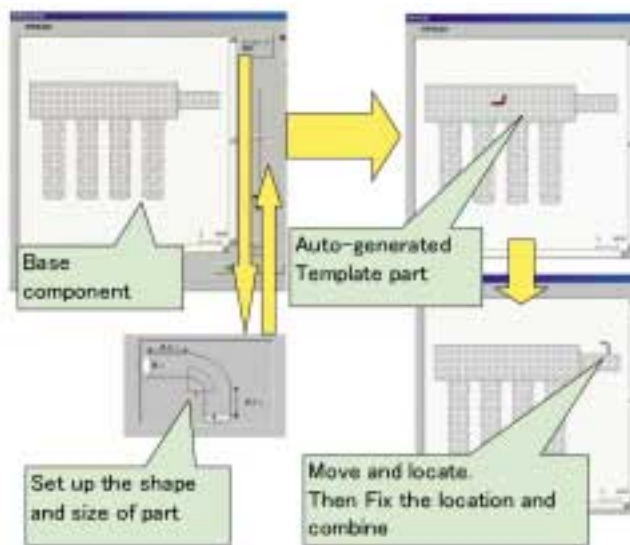


Fig.9 Flow of Template Model Generation

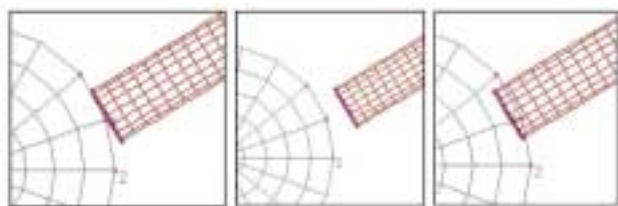


Fig.10 Projection Sub-function

3次元CADが使える担当者向けのツールであり、3次元CADが使えない設計者や実験担当者が容易に形状を変更して使えるツールとはなり得ない。

そこで主要な部品をテンプレート部品としてデータベース化しておき、オリジナルのCADデータに簡単に結合させる機能を持たせた (Fig.8)。この機能を使うと、単純な管のように径・長さが異なる部品であれば、いくつかのパターンをCFDモデルでデータベースに持っておき、オリジナルモデルと結合させるだけで様々な検討が可能となる。

しかし、実際にはもっと複雑な検討が必要な場合も多く、膨大な組み合わせに対応するためにデータベースが巨大になる。そこで、単純にデータベースとして持たせる機能に加えて、任意の形状を自動的に作成するパラメトリック設計機能も持たせている。

以下、この機能についてキャタリストを例にあげて説明する。キャタリストの場合、半透過抵抗モデルとしての設定が必要で、セル密度等に応じた通気抵抗を係数で与える必要がある。更に、形状は円、もしくは楕円で、径・長さも様々であるため、単純に形状を持たせるのではなく、prostarでキャタリストを作成できるように、コマンドとしてデータベースに登録している。具体的には、径、長さ、通気抵抗などに関する係数を可変にしたモデルをコマンドとして持たせている。このようなテンプレート部品もしくはパラメトリック設計部品は、単純な管・分岐管・曲がり管などはもちろん、スロットルのような比較的モデル作りが面倒な部品についても登録している。これらを任意に結合することで様々な検討を実現できる (Fig.9)。

テンプレート機能を実現させる際にもう1点問題となるのが、CFDモデルとCFDモデルを結合させる時の接合面の処理である。Fig.10のように一部、もしくは全部が離れている場合、もしくは食い込んだ場合、そのままでは結合できない。これについてはprostarの持つプロジェクション機能を工夫して活用することで解決した。この機能により、多少ラフに部品を動かしても問題なく結合したCFDモデルが完成するため、非常に効率的にモデル作りを行うことができる。

5.5 結果出力機能

PT-ECSでは、任意の断面を切ってその断面のベクトル図などを出力できる。また、スワール・タンブル試験など、決まった手順での結果処理については計算結果を自動的に

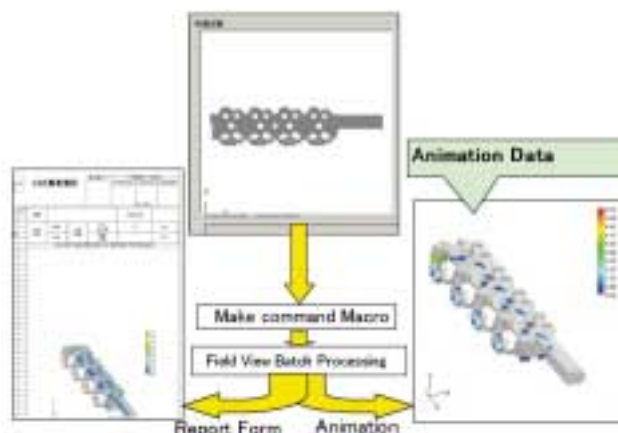


Fig.11 Flow of Animation Data Generation

処理するルーチンを組み込んでいるため、簡単に数値で結果が出力できる。

形状が単純な場合は上記の断面設定で問題ないが、複雑形状になった場合は、例えば流速が最も遅い領域はどこにあるか、などを探るのは容易ではない。また、非定常計算を行った場合のアニメーション作成も慣れと時間のかかる操作である。

これらの問題を解決するために、市販のPost ProcessorであるFIELDVIEWとリンクさせ結果を処理する機能も付け加えた。STAR-CDで計算が終わるとPT-ECS内からFIELDVIEW用の設定を行い、サーバにコマンドを送って自動処理させ、結果をPT-ECSに取り込む。アニメーションは既存の報告書形式に埋め込んだ形でも出力できるため、効率的な結果処理が可能となる (Fig.11)。この機能を使うことで、従来は数日必要だった非定常のアニメーション作成も10分足らずの工数で可能になった。

6 . PT-ECSを活用しての効果

PT-ECSを使うことで非常に簡単に高品質な解析ができるようになった。そのため設計者が図面を出すまでの間に自分自身で十分な設計検証ができるようになり、エンジン開発の効率化・高品質化が図れることが期待できる。その他、具体的な効果を個別に列挙する。

① 教育時間の低減およびユーザ数の増加

従来は、全くの初心者でも定常、非定常解析ができるまで

Table 1 Utilization of PT-ECS

	Traditional	PT-ECS
Education (In case of Trangent/ 1 D+3D)	1 ~ 2 mon.	10min.
Modeling (In case of Trangent/ 1 D+3D)	1 ~ 3 days	10min.
Post Processing (In case of Trangent/ 1 D+3D)	1 ~ 3 days	10min.

教育するのに1カ月以上は必要であった。本システムでは一通り説明するだけですぐに使えるようになるため、1時間もかからずにきちんと解析できるようになる。

このように敷居が低くなったこともあり、ユーザ数は従来の10倍以上となってさらに増えつづけている。まさに設計者が日常的にCFD解析を行える状態になったといえる。

② モデル作成時間の低減

非常計算を例にあげると、解析専任者であってもモデル作成・解析条件設定に1日程度は必要であったが、PT-ECSでは5分程度で計算の実施が可能になった。もちろん、今まで数日かかっていた不慣れな設計者であっても10分ほどで可能になっており、手軽にモデルが作成できるようになった。

③ 結果処理時間の低減と現象把握の容易化

現象把握に欠かせないアニメーション作成が従来の数日から10分程度に短縮でき、日常的に活用できるようになった。そのため従来は見極めが難しかった現象の理解が大幅に進むようになった。

④ モデル作成ミスの低減

汎用CFDツールは設定する項目が多いため、解析専任者でも時折条件設定を間違い、結果が出てから誤りに気づくことがある。設定ミスはなかなか表には出にくい、聞き取りの結果、1~2割程度は何らかの設定ミスで失敗したという結果であった。PT-ECSの場合は、解析する対象によってデフォルト値を充実させているためうっかりミスが発生しにくく、ミスはほぼ0になっている。長い計算時間が必要なCFDにおいては1回のミスで数日無駄にすることもあり、設定ミスの低減効果は大きい。慣れない設計者が解析を行う場合には特に大きな効果であると考えられる。

⑤ 容易にパラメトリックスタディが可能

エンジン内の流れの様子は回転数・負荷によって大きく変化する。各形状の検討を行う際にはこうした運転条件の影響も考慮する必要があるが、CFDで検討する場合は設定のわずらわしさから代表点だけで検討することが多かった。PT-ECSを用いることによって、様々な条件での検討が簡単に可能になる。その他にも、タグチメソッドなどの考え方をういた形状のロバスト設計により生産バラツキに強い形状を見つけ出すことが簡単に行えるなど、工数をあまりかけることなく品質の向上が期待できる。

7. 課題と今後の予定

PT-ECSは技術的に確立し使用頻度が高い解析を対象にシステム化した。しかしエンジン燃焼室内のピストンの動き等を再現した移動境界モデルや噴霧・燃焼については未対応であり、解析専任者が対応している。こうした領域についても順次PT-ECSに取り込んでいくことにより、設計者が解析できる範囲を拡大していく予定である。

8. まとめ

設計者自らが簡単にCFD解析を行えるよう、STAR-CDをソルバとするPre/Postシステムを構築した。習得に1カ月以上必要であった難易度の高い解析であっても1時間以下の教育で手軽に使えるようになり、設計者が手軽に日常的に解析可能な環境が実現できた。

また、解析専任者であっても犯す設定ミスが大幅に減り、誰もが高品質の解析を行うことができるようになった。これにより、エンジン性能開発などにおいて開発期間短縮・品質向上が期待される。

参考文献

- (1) 小林明英, 沢田龍作, 足立昌司: CAD, CAEを使った新しいエンジン開発戦略, 日本機学会誌, Vol.104, P.14 (2001)
- (2) 大西晃二, 延本秀寿, 大住敏彦, 人見光夫: コンピュータシミュレーションによる吸排気性能予測技術の開発, マツダ技報, No. 6, P.84 (1988)
- (3) 山下俊朗, 織田辰郎, 柴中顕: パワートレイン性能解析システムの開発, 自動車技術, Vol.46, No11, P.61 (1992)

著者



横畑英明



本郷 均



植木義治



堀川浩司



三村光生



中谷修二



石原卓哉



前田茂樹

論文・解説

32

冷却性能予測手法の開発 Development of Prediction Method for Cooling Performance

長野 直樹*¹ 池田 大志*² 平松 繁喜*³

Naoki Nagano

Daishi Ikeda

Shigeki Hiramatsu

高松 俊二*⁴ 本郷 均*⁵

Shunji Takamatsu

Hitoshi Hongou

要約

短期間に高品質の製品を開発するには、開発前半での充実した検討と確実な検証活動が重要である。特にこの段階では、個別システムの性能検証だけでなく、車両性能目標からシステムや部品レベルへ目標をカスケードし、車両性能目標と関連する個別システムや部品が、相互に性能目標を矛盾なく満足することが検証できなくてはならない。マツダでは、こうした考えのもとに冷却性能予測手法を開発した。本手法は、動力性能・燃費モデルと連携させた冷却システムモデルと、Computational Fluid Dynamics (以下CFD) によるラジエータ通過風速予測から構成され、両者を関連させることで、車両性能目標とデザインを考慮した冷却系の検討を可能とした。検証の結果、これらが十分な精度と実用性を有することを確認し、車両性能目標から冷却性能へ目標をカスケードし、車として最適な冷却仕様を得られることを確認した。

Summary

To develop high quality products within a limited period of time, it is essential to conduct proper study and rigorous verification activities in the first half of development period. Especially in this phase, in addition to the verification of individual system performance, it must also be verified that performance targets for both vehicle and associated individual systems & components are satisfied without discrepancy between them after target setting is done by cascading the targets from vehicle level to individual component level. Based on this concept, Mazda has successfully developed a method of predicting cooling performance. This method consists of a cooling system model linked with driving performance & fuel consumption model and CFD (Computational Fluid Dynamics) prediction of the velocity of air flow passing through a radiator. Combining these factors made it possible to study a cooling system while both design and vehicle performance targets are taken into account at the same time. The verification result demonstrates that they provides sufficiently high accuracy and practicability, and can achieve optimum cooling system specifications for the vehicle by cascading vehicle performance target down to cooling performance target.

1. はじめに

お客様のニーズの多様化が進む中、ニーズに対応した商品をタイムリーに提供できるよう、マツダでは開発の革新的効率化を目標にMDI (Mazda Digital Innovation) 計画¹⁾を推進している。その一環として、冷却系開発についても

予測技術の開発を行ってきた。

本稿では、マツダにおける最新の冷却性能予測手法について紹介する。

* 1 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

* 4 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

* 2, 3 第3エンジン開発部
Engine Development Dept.No.3

* 5 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.

2. 開発の狙い

従来の開発プロセスの概要をFig.1に示す。開発前半の企画構想段階では、車両の各種性能目標やデザインを受けて、車両からユニット、ユニットからシステム、システムから部品へと品質や性能目標をカスケードし、その中で最適設計が実現できるように検討や検証が行われる。この図の後半部は、試作車を用いて、設計、実験および生産技術など多数の部門が並行して育成を図る段階である。この車両育成段階で問題が発覚すると、対策検討、試作部品製作および再評価といった開発のやり直しが発生し、人、物、金など資源の損失が大きいばかりでなく、開発期間短縮の実現も困難である。こうした問題を解決するため、机上検討の充実をCAEの活用で図ってきた。これにより、システムレベルの性能検証は充実したが、システムが車両性能目標を満足するかの検証ができないため、結果的に実車依存型開発となっていた。

本稿で紹介する冷却性能予測手法は、短期開発化に向けた開発プロセス革新のイネーブラーのひとつとして、車両やパワートレイン（PT）の企画構想段階で活用することを前提として開発に取り組んだ。この手法の運用イメージは、Fig.2に示す通り、車両レベルの目標から冷却システムの目標をカスケードし、車両最適の冷却システム構築を早期に実現するものである。具体的に述べると、冷却性能と密接に関わる車両レベルの目標には、燃費、エミッション性能とデザインがある。燃費、エミッション性能は、ラジエータ放熱量とPT発熱量で決まる冷却水温度の影響を強く受けるため、冷却水温度を適切に制御することができれば、これらの性能向上が可能である。また、冷却性能はデザインを制約するので、車体通風系を改善して冷却性能を向上させれば、フロントエンドのデザイン自由度が上がり、商品の魅力を向上できる。

こうした性能の検討や検証に対する要求を見据えて、冷却性能予測手法の開発構想を描いた結果、

- ① 燃費、エミッションを考慮した冷却性能検証が可能

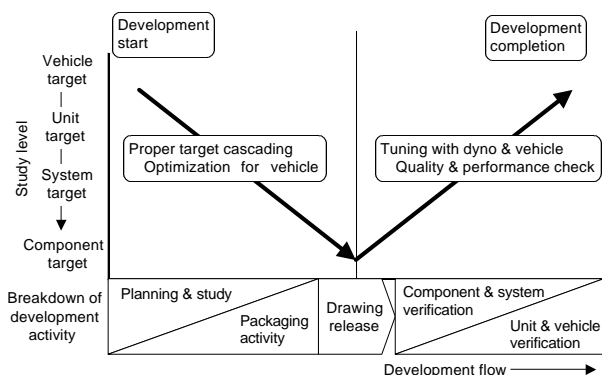


Fig.1 Vehicle Development Process

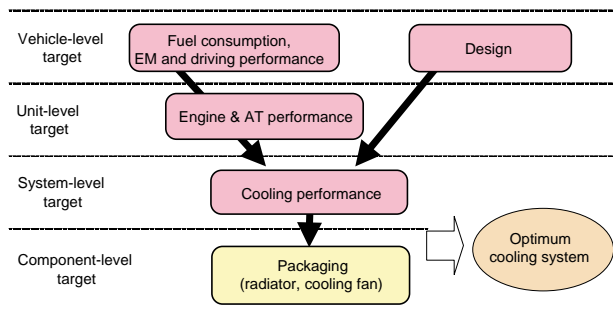


Fig.2 Operation Image of Cooling Performance Prediction Method

- ② デザイン、パッケージを考慮した冷却性能検証が可能
 - ③ 詳細な形状や仕様が未定の開発初期段階でも検討可能
 - ④ 妥当な工数、かつ出図前の開発前半で検証が可能
- これらを狙いとして開発を行った。

3. 予測手法

3.1 全体構成

車両性能向上やデザインに貢献できる冷却システムを構築するには、車両の走行状態を反映した冷却システムの検討手法が必要である。なぜならば、先述のように燃費、エミッション性能は水温の影響を受け、冷却水温度は負荷や走行速度など車両走行状態の影響を顕著に受けるからである。このように、両者は互いに影響を及ぼし合うため、相互の関係を再現した冷却水温度の予測が不可欠となる。

以上のようなコンセプトの下に構築した冷却性能予測手法の全体構成を、Fig.3に示す。図中の黄色部は検討ツールを示し、矢印は検討に用いられる情報やデータのやりとりを示している。図中の青色で囲まれた部分は、本予測手法の中核となる冷却システムモデルとCFDを示す。

冷却水温度を予測する冷却システムモデルは、動力性能・燃費モデルと連携し、走行状態や冷却水温度を相互に反映し合う。また、その中で重要な位置を占めるラジエータ放熱量を得るには、車体デザインやラジエータ前後の構造物など、物の形状に大きく影響を受けるラジエータ通過

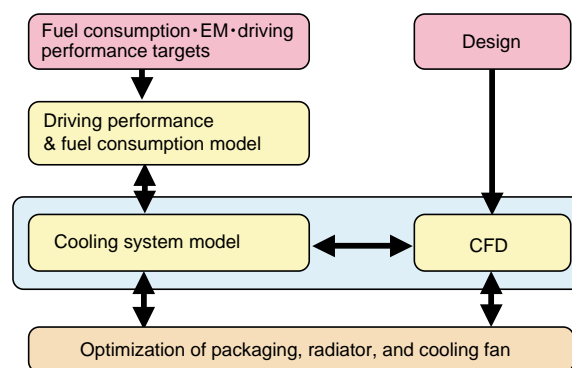


Fig.3 Overall Structure

風速を精度良く求める必要があり、この領域にはCFDを適用した。そして、冷却システムモデルとCFDとは、車体通気抵抗値を用いて関連を持たせた。

このように、複数のツールを連携させることによって、車両に最適な冷却システムの検討が可能となった。

3.2 冷却システムモデル

上述のように、車両最適な冷却システムを検討するためには、走行状態に対応した冷却水温度を予測しなければならない。この冷却水温度の要因は、発熱、熱伝達、放熱という三つに分けることができ、それぞれが車両の走行状態と密接に関連している。したがって、各要因に走行状態に応じた車両やPTの状態量を与え、水温を求める。そこで、冷却システムを(1)PT発熱モデル、(2)PT熱流モデル、(3)ラジエータ放熱モデルという三つの要素に分けてモデル化し、既存の動力性能・燃費予測モデルに接続した。

その構成の概略をFig.4に示す。動力性能・燃費予測モデルと冷却システムモデルの間では、任意の走行モードにおける車速やPTの負荷、回転などの状態量や冷却水温度を共有している。動力性能・燃費予測モデルは、冷却システムモデルから与えられる冷却水温度を用いて、過渡を含めた運転状態を計算し、走行中の燃料消費量やエミッション性能を予測する。冷却システムモデルは、刻々と変化する走行、補機、制御および損失などの状態を反映して、PT発熱量とラジエータ放熱量を計算し、動力性能・燃費モデルへ冷却水温度を与える。それぞれの要素モデルは、更にいくつかの要素から構成され、各要素の内部では、エンジン水温、エンジンシリンダ温度、ラジエータ水温、ラジエータ通過空気温度、ATF (Automatic Transmission Fluid) 温度などを考慮している。

このような構成でモデル化することにより、ラジエータやエンジン、ATなど複数の要素から構成される複雑な冷却システムの機能が再現でき、走行状態を反映した冷却水温度の予測が可能となった。以下に、冷却系システムモデルを構成する各要素について述べる。

(1) PT発熱モデル

PT発熱モデルは、エンジン発熱量とAT発熱量について

以下の方法で算出する。

① エンジン発熱量

本モデルでは、4サイクル水冷ガソリン機関放熱量モデル^{(2),(3)}をもとに、排気系仕様差などで補正を加えたエンジン発熱量計算式を用いて計算する。

② AT発熱量

Fig.5に、AT発熱量の内訳を示す。図の通り、AT発熱量として考慮したのは、トルクコンバータの損失、機械抵抗およびギヤ伝達損失による発熱である。これらの損失による発熱量は、動力性能・燃費モデルから得られる過渡の運転情報(トルク、エンジン回転など)から求めた。

機械抵抗による発熱の一部はケーシングから放熱されるので、ATFへの熱伝導もモデル化した。

(2) PT熱流モデル

まず、PT発熱モデルから受け取った熱量は、それぞれの要素における熱容量によって温度へと変換される。各要素の温度は、熱伝達率、流量などによって関連付けられ、エンジン水温へ反映される。エンジン水温は、これらの加熱とラジエータによる放熱とのバランスを保ちながら、熱伝達の原理によって時々刻々と変化していく。このとき、熱の移動はウォーターポンプやATFポンプなどによって行われ、走行状態に応じた流量が考慮される。

一例として、以下にエンジンシリンダと冷却水との間の熱伝達に関する支配方程式を示す。

$$C_{ec} \dot{T}_{ec} = w A_w (T_w - T_{ec}) + Q_e$$

T_{ec} : エンジンシリンダ温度, T_w : エンジン水温

C_{ec} : エンジンシリンダ熱容量, w : 冷却水熱伝達率

A_w : 放熱面積, Q_e : エンジン発熱量

係数 $w A_w$ は熱の流動を支配する役割をもち、各要素の支配方程式は、この係数を適合させることによって上式と同様に表すことができる。例えば、エンジンとラジエータ間では、両者の間を流れる冷却水熱容量がこの係数となる。また、式の各特性はウォーターポンプやATFポンプなどの状態によって変化させ、走行状態に応じた熱流を求めるこ

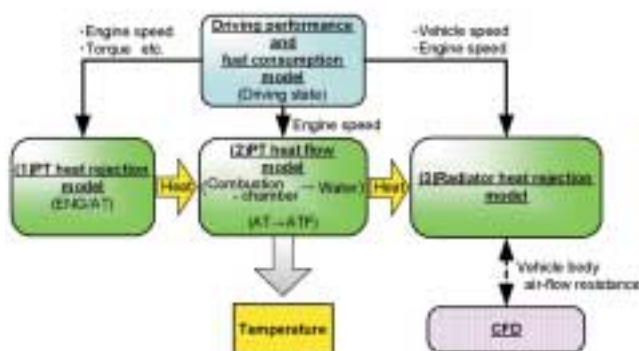


Fig.4 Architecture of Cooling System Model

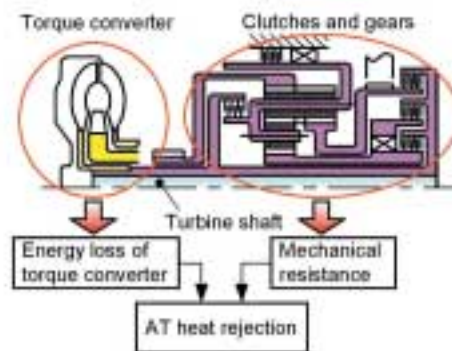


Fig.5 Breakdown of AT Heat Rejection

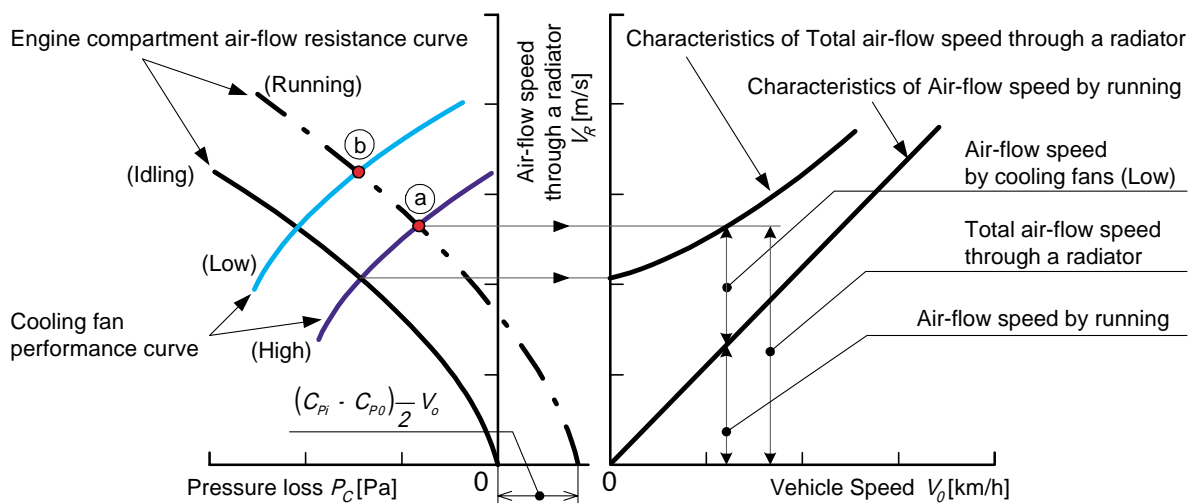


Fig.6 Vehicle Body Air-flow Resistance and Air-flow Speed through Radiator

とを可能とした。

(3) ラジエータ放熱モデル

ラジエータ放熱量は、ラジエータ通過風速、通過水量および放熱率で決まる。このうちラジエータ通過風速は、車両が走行することで得られる走行風と冷却ファンが作動することで得られる冷却ファン風の合成であり、走行車速や冷却ファンの作動状態を考慮してラジエータ通過風速を求める必要がある。ラジエータ放熱モデルでは、Fig.6⁽⁴⁾に示す関係を用いてこの計算を行う。図において車体通気抵抗曲線は近似式で表現し、CFDとの関連付けを容易にしている。冷却ファンの性能曲線は、ファンの静圧と風量の特徴データをもとに近似式を求めて入力する。走行状態におけるラジエータ通過風速は、連動する動力性能・燃費モデ

ルから得られる走行車速から走行動圧を求めて車体通気抵抗線をずらし、冷却ファン性能曲線との交点(Fig.6 ④)を求めて算出する。更に冷却ファンは、制御ロジックによって出力を変化させられるように冷却ファン性能曲線を複数設定し、制御に従って性能曲線を切り替えて作動点(Fig.6 ⑤)を求める。ラジエータ通過水量は、エンジン回転数に応じたマップで求め、サーモスタットの作動状態を加味した補正水量を用いる。こうしてラジエータ通過風速と通過水量が得られ、放熱率マップからラジエータ放熱量を算出する。

3.3 CFD

CFDでは、冷却システムモデルから与えられる車体通気抵抗の要求値とデザインとを両立できる、パッケージや冷却部品仕様を検討する。具体的には、デザインやパッケージ構想を受けて3Dモデル化を行い、ラジエータ通過風速を求める。また、冷却システムモデルとの関連を持たせるため、ラジエータ通過風速を車体通気抵抗値に変換する。

本手法では、多くのパッケージや冷却部品仕様の検討を迅速に行えるように、モデリングを含めた解析工数低減に注力した工夫を凝らした。なお、CFD解析には市販の汎用流体解析ソフト“STAR-CD”を使用している。

(1) 解析モデル

CFDでは、冷却システムモデルからの車体通気抵抗要求値を満たす仕様を、素早く決定できるモデリング手法が求められる。そこで、仕様変更時のモデル修正工数低減を狙い、全体の解析モデルをFig.7に示すような位置で分割し、これらを不連続面で接合した。モデルは図に示す通り、①車体外部風洞部、②車体外部(バンパーフェイス部)、③車体外部(その他)、④床下部、⑤エンジンルーム部その他、バンパー裏部、ファン含む放熱器部の7つの部分モデルで構成した。各部分モデルの分割位置は可能な限り標準化して、様々な車種モデルでも流用使用を可能とし、モデリング作業を容易にした。また、分割した格子モデルは解

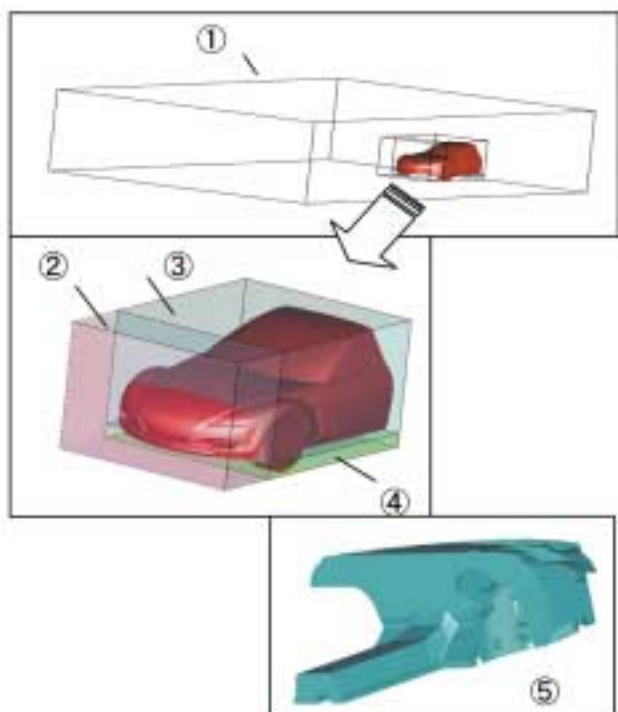


Fig.7 Division of Grid Model for CFD Analysis

析精度とのバランスを取りながら格子サイズを適正化し、全体格子数と解析時間を短縮した。

冷却ファンモデルは、ファンを通過する流れを翼角度で数学的に分配するだけとし、増速はさせていない。

(2) 車体通気抵抗の算出

CFDで得た数点の車速におけるラジエータ通過風速をもとに車体通気抵抗を求め、冷却システムモデルで与えられる要求値と比較検証する。

以下に車体通気抵抗の算出式を示す⁽⁴⁾

$$P_o - P_i = \zeta \frac{\rho}{2} V_r^2 - (C_{pi} - C_{po}) \cdot \frac{\rho}{2} V_o^2$$

P_o : エンジンルーム出口圧力,

P_i : エンジンルーム入口圧力, ζ : 全圧力損失

V_r : ラジエータ通過風速, V_o : 車速

C_{po} : 出口圧力係数, C_{pi} : 入口圧力係数

このうち、全圧力損失 ζ は

$$\zeta = \left(\frac{V_o}{V_r} \right)^2 - 1$$

で表される。また、エンジンルーム抵抗 P_c は、

$$P_c = \zeta \frac{\rho}{2} V_o^2$$

で表される。上式で表されるエンジンルーム抵抗 P_c が車体通気抵抗値となる。

4 . 検証結果

冷却性能予測手法の中核となる、冷却システムモデルおよびCFDの検証を行った。前者は冷却水温を、後者はラジエータ放熱量を実車による計測値と比較した。

(1) 冷却システムモデルの検証

3.0L・V型6気筒エンジン搭載車を用いて、冷却水温度の検証を行った。検証にはFTP75モードを使用し、ファストアイドル領域、冷却ファン作動領域に着目した。前者は冷間始動からのエミッション排出量やエンジンの機械抵抗算出に、後者は冷却スベックや冷却ファン制御などの検討に活用される重要な領域である。実車データは、シャシーローラによるものであり、水温初期値、外気温度はともに25 前後、走行風速として16km/h一定の風速を車両前部からファンによって与えた条件のもとで計測している。これと同様の条件を冷却システムモデルに入力し予測を行った。

Fig.8に、ファストアイドル領域、Fig.9に電動ファン作動領域における実測値と予測値を示す。グラフ上段は走行経過時間と水温変化を示し、グラフ下段は走行経過時間とエンジン回転数を示している。これらより、ファストアイドル領域の誤差は平均にして - 1.4 , 電動ファン作動領域での誤差の平均値は - 0.6 と、動力性能・燃費モデルで燃費、エミッション検証を行うには、十分な冷却水温予

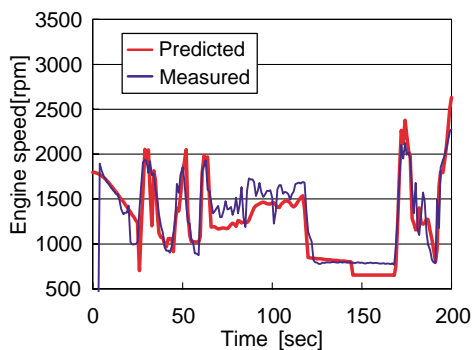
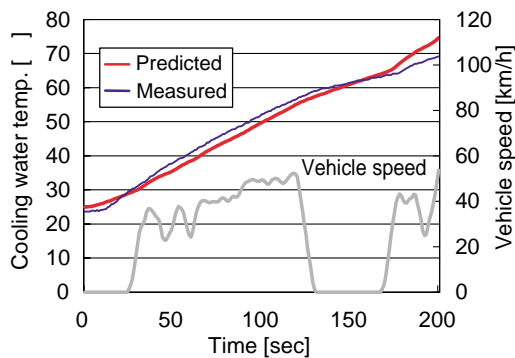


Fig.8 Verification Result (during fast idle)

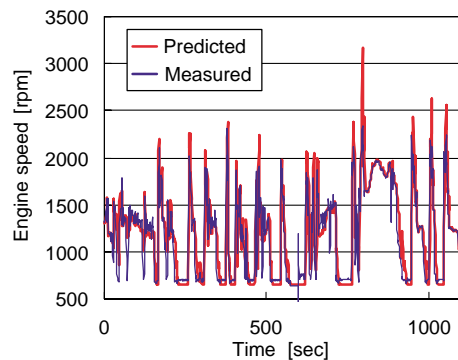
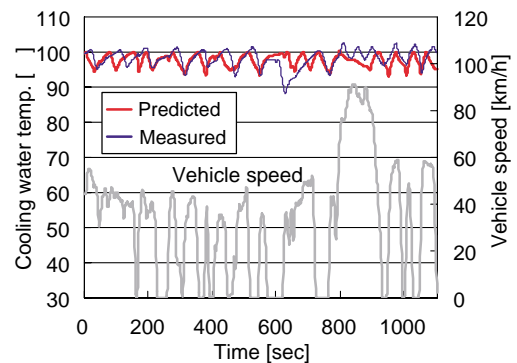


Fig.9 Verification Result (during cooling fans activated)

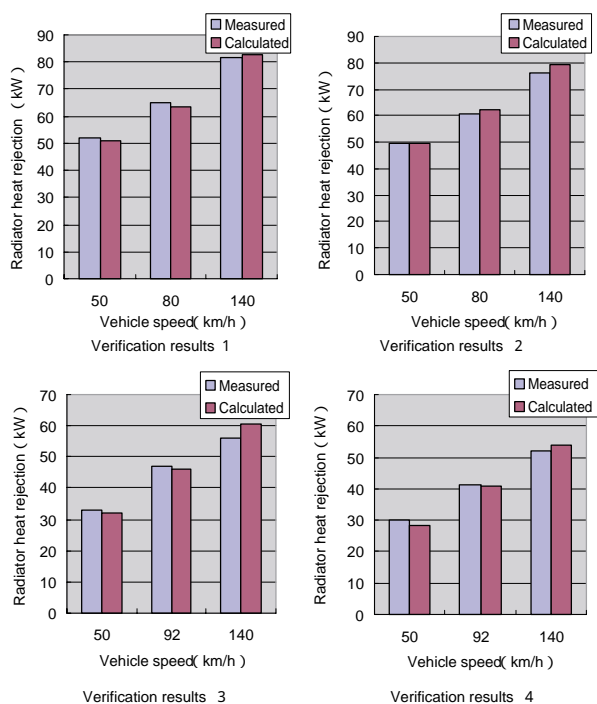


Fig.10 Verification Results of Heat Rejection Value of Radiator

測精度を有することが確認できた。

(2) CFDの検証

CFDの検証を、ラジエータ放熱量の実測値と予測値の比較によって行った。実測値は、車両を風洞に持ち込み、ラジエータに一定流量の温水を流した際のラジエータ入口と出口の温度差を計測し、ラジエータ放熱量を求めたものである。予測値は、実測した車両と同一の車体形状や冷却系仕様で、CFDによってラジエータ通過風速を求め、3.2 (3)の手法でラジエータ放熱量を算出したものである。これらラジエータ放熱量の実測値と予測値を比較した結果をFig.10に示す。検証結果1, 2は同じ車体デザインで、ラジエータとエンジンルームパッケージが異なる2仕様である。検証結果3, 4は同じ冷却系部品仕様で、車体デザインが異なる2仕様である。検証の結果、ラジエータ放熱量の予実差は全て $\pm 8\%$ 以内に収まり、実用上十分な精度が得られている。

5. まとめ

車両性能目標からカスケードし、車に最適な冷却システムを構築する冷却性能予測手法を開発した。

この手法は、動力性能・燃費モデルと冷却システムモデルを連携させることによって、相互に影響し合う走行状態や冷却水温度の関係を予測可能とした。更に、CFDと関連させることで、車両性能目標に沿ったパッケージや冷却部品仕様を検討することを可能とした。

このように、詳細形状データを必要としない動力性能・燃費モデルおよび冷却システムモデルと、3D形状を扱う

CFDとが連携した本手法によって、開発前半で実車に依存することなく、燃費、エミッションなど車両レベルの性能やデザインを主役に据えた検討を可能とした。それにより、お客様の喜びに貢献する冷却システムが構築できるようになった。

現在、本予測手法を開発に適用しており、車両開発期間の短縮化や車両の主要性能向上に貢献する付加価値の高い冷却システムの構築に活用している。

今後は、冷却水に関連する車両の諸性能との連携を進め、より車両に最適な冷却システムを提供していきたい。

参考文献

- (1) 新見：製造業のデジタル革新マツダ技報，No.18 (2000)
- (2) 山岸，星：4サイクル水冷ガソリン機関放熱量についての研究(第1報)，内燃機関12巻9号(1973)
- (3) 山岸，星：4サイクル水冷ガソリン機関放熱量についての研究(第2報)，内燃機関12巻10号(1973)
- (4) 妹尾，知名，二之湯，亀山：機関冷却システムの基本設計手法，自動車技術会誌，Vol.40，No.4(1986)

著者



池田大志



平松繁喜



高松俊二



本郷均

論文・解説

33

タンブル流および逆スキッシュ流によるノッキング改善

Knocking Improvement by Tumble Flow and Reverse Squish Flow

田端道彦*¹ 藤本昌彦*² 岩井浩平*³
Michihiko Tabata Masahiko Fujimoto Kouhei Iwai

要約

逆スキッシュ流動を活用した後高の燃焼パターンによるノッキング改善を目的に、実機エンジンでの筒内ガス流動（タンブル流動，スキッシュ流動），火炎伝ばや燃焼パターンの計測を行い，種々の燃焼室形状に対して，タンブルとスキッシュ流動方向の関係，タンブル比の影響などを調べた。その結果，タンブルと逆スキッシュ流動が同一方向の場合はタンブル比を高める方向で，逆に相反する流動方向の場合はタンブル比を低減する方向で，逆スキッシュ流は強くなる。タンブルと逆スキッシュ流動が同一方向の場合と比較して，相反する場合には，相対的に低いタンブル比で逆スキッシュ流が強くなる。逆スキッシュ流動を強化することで後高の燃焼率を得ることができ，高いノッキング改善効果が得られることなどが明らかとなった。

Summary

This paper describes knocking improvement by achieving a high heat release pattern at late stage combustion using a reverse squish flow. The gas flow in a cylinder flow (tumble and squish flow), flame propagation, and the combustion pattern were measured with a real SI engine. A flow-direction relationship between the tumble and squish flows and the influence of a tumble ratio were examined for each of various combustion chamber shapes. This examination clearly shows the reverse squish flow becomes intense at a high tumble ratio when the tumble and reverse squish flows are in the same direction, while it becomes intense at a low tumble ratio when in a conflicting direction, and a relatively low tumble ratio makes the reverse squish flow the maximum when the tumble and reverse squish flows are in the conflicting direction compared to that in the same direction. Increasing the reverse squish flow rate can enlarge the heat release pattern at the late stage combustion, thus achieving a high effect of knock improvement.

1. はじめに

自動車用ガソリン機関は，一層の高出力・低燃費を実現するため高圧縮比化が進められており，その最大の障害となるノッキング改善が求められている。ノッキングは急激な圧力伝ばをともなう未燃ガスの自着火現象であることは広く認められており，これを抑制するためには，燃焼パターンの改善，すなわち①燃焼期間の短縮，②後高の熱発生

率（燃焼後期の熱発生率が高い燃焼パターン）^①を高次元で両立させ，ノッキングが発生し難い燃焼状態を毎サイクル安定して実現することが重要である。

燃焼速度や熱発生パターン，燃焼安定性はタンブル流やスキッシュ流など筒内ガス流動特性に大きく影響される。従来から吸気流速を強め，燃焼速度向上による燃焼改善がよく知られているが，最近では膨張行程の逆スキッシュ流による後半の燃焼加速がノッキング改善に有効であること

* 1 ~ 3 技術研究所
Technical Research Center

が注目されている⁽²⁾。スキッシュ流や逆スキッシュ流の形成は、吸気流動のない静的な条件下では、主としてスキッシュ部面積やスキッシュ部形状の影響を大きく受ける⁽³⁾。それに加え、実機エンジンでは、タンブル流などの筒内主流が存在し、その強さや方向が時間的・空間的に変化している。上死点近くで形成されるスキッシュ流や逆スキッシュ流は、これら筒内主流の影響を強く受けるものと考えられる。しかしながら、実機エンジンにおいてタンブル流とスキッシュ流の関連について調べた研究例は少ない。

そこで本研究では、実機エンジンの筒内流動をPIV (Particle Image Velocimetry) 法⁽⁴⁾により明らかにし、タンブルと逆スキッシュ流動の関係を明らかにした。更に、火炎伝ばや燃焼パターンを調べることで、ノッキング性能におよぼす逆スキッシュ流動の影響を調べたので報告する。

2. PIV流動計測装置

Fig.1に実験に使用した筒内可視化エンジンの概略を示す。燃焼室形状は4弁ペントルフ形、スキッシュ形状は十分なスキッシュ部(面積比約20%)を確保するために、ピストン頂部の吸気側あるいは排気側の一部をペントルフの傾きに沿って盛り上げた透明アクリルピストンを使用した。以降、両者をIN側スキッシュピストン、EX側スキッシュピストンと称する。なお、タンブル流を観察する際には石英シリンダ、スキッシュ流を観察する際にはペントルフの側面に石英ウインドを挿入して、筒内を可視化できるようにした。筒内のガス流動は、アルゴンイオンレーザ(出力4W)と高速度ビデオ(9000FPS)を用い、マイクロバルーン(平均粒径40 μ m)をトレーサとした流れの可視化画像から相互相関PIV⁽⁴⁾法により計測した。測定はシリンダ中心軸断面(IN-EX方向)、運転条件はエンジン回転数が1000rpm、体積効率34%のモータリング運転とした。

3. スキッシュ部位置の影響

3.1 タンブル流動特性

Fig.2は圧縮行程における筒内タンブル流形成について、IN側スキッシュピストンとEX側スキッシュピストンで速度ベクトルを比較した結果である。IN側スキッシュピストンの場合、ピストン面に向かった吸気主流は、下死点においてスキッシュ部のエッジにトラップされ、そのままシリンダヘッド上方に立ち昇ることが分かる。その結果、タンブル流はコンパクトにスキッシュ部の外に収まったままピストン圧縮が進行し、BTDC120degでは、縦に長い楕円状の渦が形成される。それ以降も渦中心はスキッシュ部の外部に存在し続け、スキッシュ部内の流速は極めて低い。

EX側スキッシュピストンの場合、吸気主流はスキッシュ部面で吸気弁側シリンダヘッド上方に跳ね上げられ、再びスキッシュ部面に循環するタンブル流が形成される。ピストン圧縮が進行し、スキッシュ部が上方に移動するため、

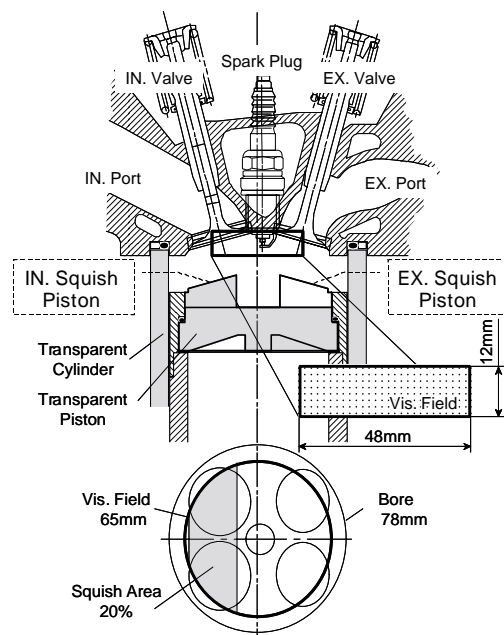


Fig.1 Transparent Engine and Piston

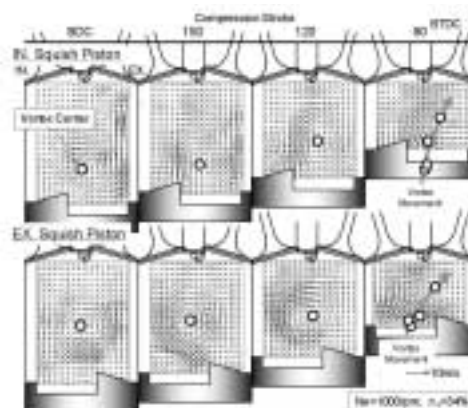


Fig.2 Effect of Squish Area Location on Tumble Flow Formation

ペントルフ内を循環してきたタンブル流が渦形状を保てなくなり、BTDC120degでは、水平方向につぶれた渦が形成される。さらに圧縮が進むと、スキッシュ部の傾斜にガイドされるように渦中心がスキッシュ部内に入り込む方向に移動する。

Fig.3に、点火プラグ位置におけるx軸方向成分(タンブル方向を正)とz軸方向成分(シリンダヘッド方向を正)のガス流速の時間履歴を示す。なお比較のため、スキッシュ部なしフラットピストンのデータも同時にプロットしている。スキッシュ部なしフラットピストンでは、圧縮行程後半(BTDC30deg)まで正タンブル方向に高い流速成分が維持され、シリンダ軸方向の流速は極めて低い。すなわち、タンブル流は圧縮行程全般に渡ってシリンダ内を大きく循環するシンプルな縦溝構造となっている。一方、EX

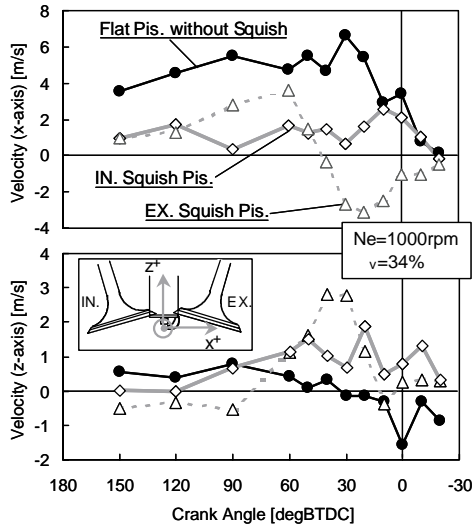


Fig.3 Time Histories of Velocity at Plug Location

側スキッシュピストンでは、BTDC50degを境に逆タンブル方向の流速とともに、シリンダ上方に向かう流速が急速に高まる。これは、Fig.2のようにスキッシュ部内にタンブル流が入り込み、ピストン圧縮によって渦構造を保てなくなったタンブル流が押しつぶされ、正スキッシュ流によって逆タンブル方向への強いガス流動を形成するためと考えられる。また、IN側スキッシュピストンでは、正タンブル、逆タンブル方向の流速が他の条件と比較して最も低く、圧縮行程中、シリンダ上方に向かう流速が比較的高い状態が維持されている。これは、タンブル流がシリンダ中心に対してスキッシュ部の外（排気側）にオフセットした状態でピストン圧縮が進むことを示している。

3.2 スキッシュ流動特性

Fig.4は、Fig.2のクランク角がさらに進行した際の圧縮行程 (BTDC20deg) と膨張行程 (ATDC20deg) におけるスキッシュ流動について、速度ベクトルを比較した結果である。圧縮行程において、IN側スキッシュピストンではスキッシュ部内の流速が低いのにに対して、EX側スキッシュピストンではタンブル流が押しつぶされる結果、ボア中心に向かって押し出される正スキッシュ流動が顕著となる。一方、膨張行程では、両者ともスキッシュ部でボア壁に向かう逆スキッシュ流が形成されるが、圧縮行程においてボア中心に向かうガス流速の低いIN側スキッシュピストンの方が 膨張行程での逆スキッシュ流動が顕著となる。

Fig.5はスキッシュ部入り口のガス流速の時間履歴を比較した結果である。なお、速度はボア中心方向を正、外周方向を負とした。本結果は吸気流による残存主流とピストンの圧縮・膨張によるスキッシュ流を明確に区別していないが、ATDC -30 ~ 30degで両者を比較すると、明らかに圧縮行程ではEX側スキッシュピストンの方が正スキッシュ方向の流速が強く、逆に膨張行程ではIN側スキッシュ

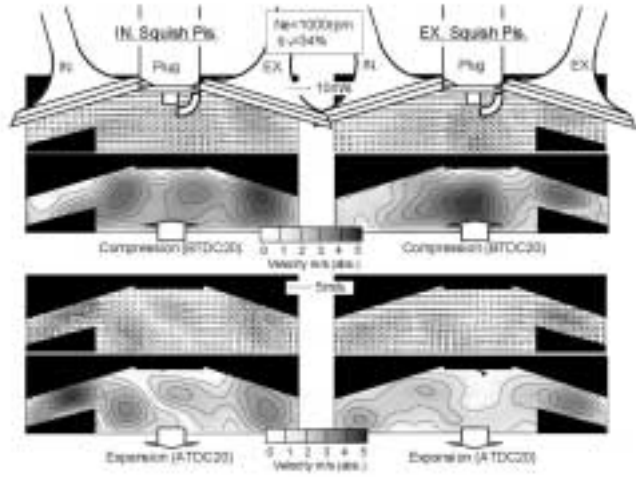


Fig.4 Effect of Squish Area Location on Squish Flow Generation

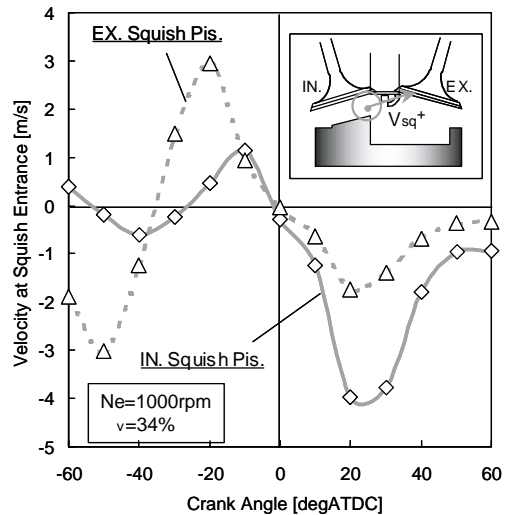


Fig.5 Time Histories of Velocity at Squish Entrance

ピストンの方が逆スキッシュ方向の流速が強くなるのが分かる。

3.3 火炎伝ば特性と燃焼パターン

Fig.6は、各ピストン形状で火炎伝ばを比較したもので、高速度直接火炎撮影により火炎面軌跡を重ね描きした結果である。スキッシュ部なしフラットピストンでは、タンブル流により初期火炎が排気側に大きく流されるため、吸気側の火炎成長が遅れ、エンドガス領域が形成される。一方、スキッシュピストンは両者ともスキッシュ部でライン密度が粗くなっており、この領域の火炎伝ばが加速されている。特にIN側スキッシュピストンではスキッシュ部の外と比較すると、スキッシュ部の火炎伝ば速度が大きく、燃焼後半の加速効果が大きい。これは、Fig.5に示したように圧縮行程の正スキッシュ流と比較して、膨張行程の逆スキッシュ流が強まるガス流動特性のためである。Fig.7は、火炎画像を吸気側と排気側に分けて火炎面積割合の拡がり速度で整理し、その時間履歴を比較した結果である。この図

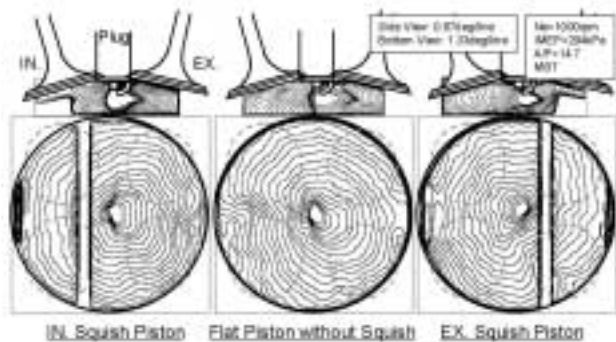


Fig.6 Flame Propagation Images

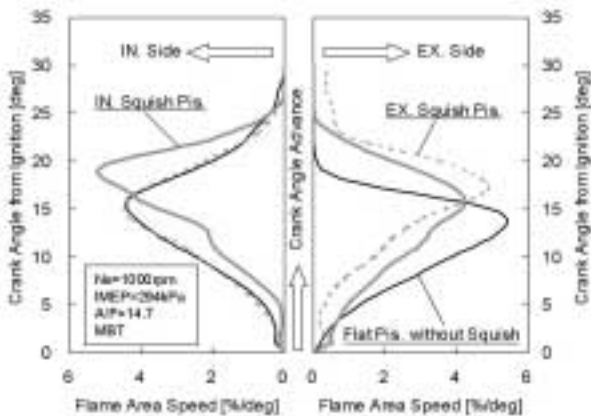


Fig.7 Comparison of Flame Area Speed

からもIN側スキッシュピストンの方が燃焼後半の火炎伝ば速度を増加する効果が大きいことが分かる。

Fig.8は、後半の燃焼加速効果の大きいIN側スキッシュピストンとスキッシュ部なしフラットピストンで熱発生率(50サイクル分)を比較した結果である。スキッシュ部がない場合には点火後比較的早くから熱発生が始まるのに対して、IN側スキッシュピストンでは点火後の初期の熱発生が抑えられ、その後ピークに向かって加速的に熱発生が大きくなる。さらに、点火直後の熱発生立ち上がり部分(図中の破線部分)の燃焼バラツキに着目すると、スキッシュ部がない場合のサイクル変動に比べ、IN側スキッシュピストンの変動が小さい。Fig.3のようにスキッシュ部がない場合では、点火時期においてタンブル流が崩壊しきれず、吸気側から排気側へ流れる点火プラグ付近のガス流速が強いため、初期火炎核形成が不安定になる⁽⁵⁾ものと考えられる。

IN側スキッシュピストンとスキッシュ部がない場合での燃焼期間、燃焼パターンおよび着火安定性を調べるために、4気筒1.5L実機エンジン(φ=10.0)を用い、空燃比と定常タンブル比($T_R=0.7$)を等しくシロトル全開運転試験を行った。Fig.9は回転数に対する影響を示す。なお、実機エンジン試験では、量産性を考慮して、IN側スキッシュピストンにバルブリセスを設置したものをを用いた。

いずれの回転数においても、IN側スキッシュピストン

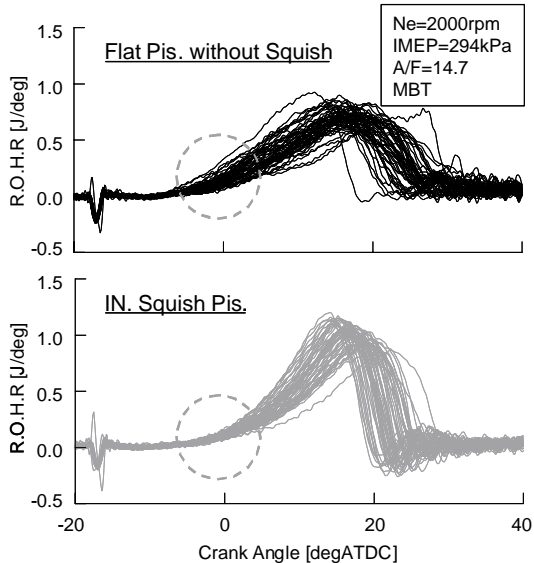


Fig.8 Comparison of Rate of Heat Release

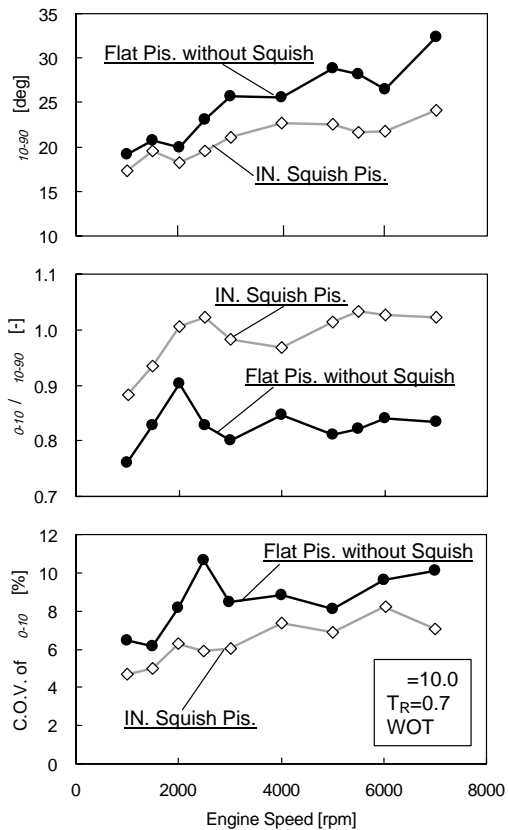


Fig.9 Comparison of Combustion Pattern and Fluctuation

では、結果的に排気側よりにコンパクト化された燃焼室形状と逆スキッシュ流動強化により、燃焼期間($10-90$)を大幅に短縮する。さらに、初期燃焼期間と主燃焼期間の比として定義した燃焼パターン($0-10 / 10-90$)と初期燃焼期間の変動率で定義した着火安定性(C.O.V.of $0-10$)からみても、IN側スキッシュピストンの燃焼パターンはスキッシュ部がない場合に比べ、全回転域で後期燃焼割合が高い後高の燃焼率となる。さらに、初期燃焼率の変動が少

なく着火が安定していることが確認できる。

以上のことから、排気側よりも吸気側にスキッシュ部を確保した場合の方が、点火プラグに向かう圧縮行程のタンブル流の強さ、方向を変えることで着火安定性を確保できる。さらに、吸気側が外周方向へのより強い逆スキッシュ流を形成し後高の熱発生率を実現できたため、ノッキング改善に対して有利な筒内ガス流動特性、燃焼特性であると考えられる。

4. タンブル流動方向と強度の影響

4.1 タンブルとスキッシュ流動方向の関係

Fig.5やFig.7に代表されるように、これまでの結果から、吸気側と排気側ではスキッシュ部の流動特性に違いがあり燃焼が大きく変わることが分かった。この要因として、タンブルとスキッシュ流動の方向の関係が、吸気側と排気側で相反していることが挙げられる。スキッシュ部を燃焼室ペントルーフに沿わせた場合、盛り上がったピストン形状によりタンブル流動自体への影響が大きくなる。そこで、ここでは一般的なスキッシュ部として、フラットに近い形状のピストンを用い、ピストンに沿うスキッシュ部により形成される逆スキッシュとタンブル流動の関係について、火炎伝ばの可視化と流動数値シミュレーションにより調べた。

Fig.10は、圧縮はじめのタンブル流動を初期値として、タンブル比を変化させた場合の膨張行程 (ATDC10deg) における吸気側と排気側の逆スキッシュ流動を比較した結果である。また、Fig.11は計算結果から得られたタンブル比と逆スキッシュ流速の関係を示す。吸気側の流動は、タンブルと逆スキッシュ流動方向が一致する場合、逆に、排気側の流動はタンブルと逆スキッシュ流動が相反する場合である。タンブルと逆スキッシュ流動方向が一致した場合には、膨張行程でも残存するタンブル流動により、逆スキッシュ流動が加速されるため、タンブル比を強めると逆スキッシュ流が強くなる。逆に流動方向が相反する場合には、膨張行程でのタンブル流動により逆スキッシュ流動が抑制されることから、タンブル比を低減することで逆スキッシュ流を強化できることが分かる。これは、ペントルーフに沿うスキッシュ流動を形成するIN側スキッシュピストンの場合とタンブルと逆スキッシュ流動方向の関係が一致しており、タンブル流動をトラップし弱めた場合に逆スキッシュ流動が強くなる現象と一致している。

Fig.12は火炎伝ば経路におよぼすタンブル比の影響を調べるために火炎面積割合と火炎重心位置の関係を示したものである。タンブル流が強くなると火炎伝ば初期から大きく排気側へ流されるため、火炎伝ば後期において吸気側の火炎成長が大きく遅れる。したがって、火炎伝ばの均一性の観点からは、タンブル流が弱い方が燃焼期間トータルで偏心が少なくなるため、相対的に後期燃焼割合が改善された燃焼パターンとなるものと考えられる。

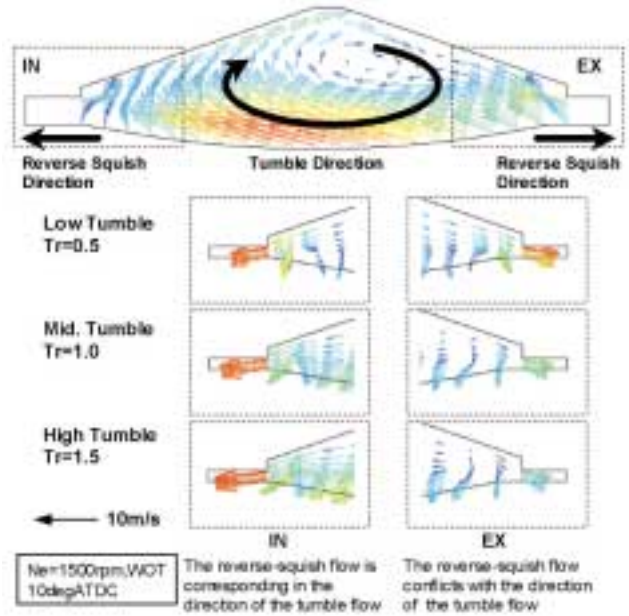


Fig.10 Effect of Tumble Ratio on Reverse Squish Flow Pattern

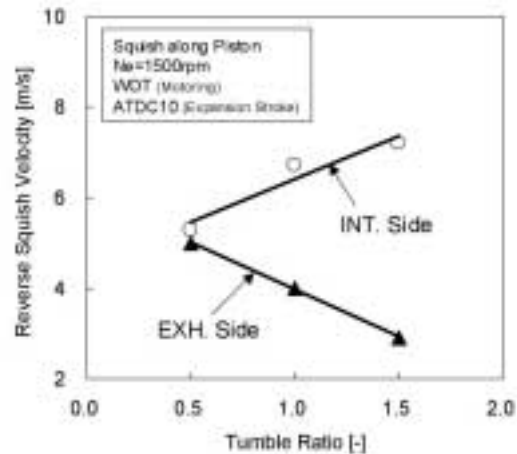


Fig.11 Effect of Tumble Ratio on Velocity at Squish Entrance

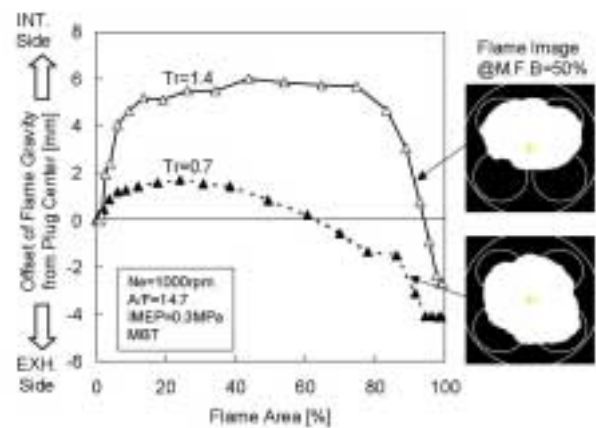


Fig.12 Effect of Tumble Ratio on Flame Propagation

4.2 燃焼パターンにおよぼすタンプル比の影響

Fig.13は、実機エンジンを用い、燃焼期間、燃焼パターン ($\theta_{0-10} / \theta_{10-90}$) と初期燃焼変動におよぼすタンプル比の影響を、ピストンに沿うスキッシュ形状、ペントルーフに沿うスキッシュ形状 (IN側スキッシュピストン) およびスキッシュ部がない場合と比較した結果を示す。IN側スキッシュピストンはバルブリセスを設置した場合としない場合の両方を図に示してある。ペントルーフに沿うスキッシュ形状の場合、バルブリセスを設置することにより逆スキッシュ流動の効果が弱められるために、燃焼期間が長くなり、初期燃焼期間と主燃焼期間の比も減少する傾向にあるが、タンプル比に対する両者の傾向は一致している。燃焼期間はスキッシュなしと比較して短縮する。初期燃焼期間と主燃焼期間の比は、タンプル比を低減することで高くなり、タンプル比が0.8近くで最大となる。これは、ペントルーフに沿うIN側スキッシュピストンの場合、タンプルと逆スキッシュ流動の方向が相反しているため、タンプル流動を低減することで逆スキッシュ流が強くなるためである。さらに、タンプル流動を低減すると燃焼期間が長くなり、相対的に後期燃焼割合が減少した燃焼パターンとなる。

これに対して、ピストンに沿うスキッシュの場合には、スキッシュ部がない場合と比較して、燃焼期間は一律に短くなり、燃焼パターンが最大となるタンプル比は0.9とペントルーフに沿う場合と比較して 高くなること分かる。これは、ピストンに沿うIN側スキッシュでは、タンプルと逆スキッシュ流動の方向が一致しており、タンプル流動を強めることで逆スキッシュ流動が強化されるためである。タンプル流動を強めた場合、Fig.12に示すように火炎が大きく排気側に偏心することにより後半の燃焼割合が相対的に低下する。

いずれの場合も、初期燃焼の変動はタンプル比を増加させることで、増加する傾向にある。タンプル流動を強めると点火プラグ周りの流動が強くなり、初期火炎核の形成が不安定になるためである。また、IN側スキッシュピストンの初期燃焼変動が低いのは、Fig.8に示したように、タンプル流の方向を換えることによりプラグ周りの流速を低減することで初期燃焼変動を低減するためである。

5 . 全開燃焼性能改善効果

Fig.14に、タンプル比を変化させた場合のピストンに沿うスキッシュ形状、ペントルーフに沿うスキッシュ形状 (IN側スキッシュピストン) のノッキング限界 (MBTからの点火進角のアドバンス量) を示す。タンプル比に対するノックの改善は、Fig.13の後高の燃焼率が最大値を示すタンプル比とほぼ一致する。ペントルーフに沿うスキッシュ形状、ピストンに沿うスキッシュ形状、いずれの場合もタ

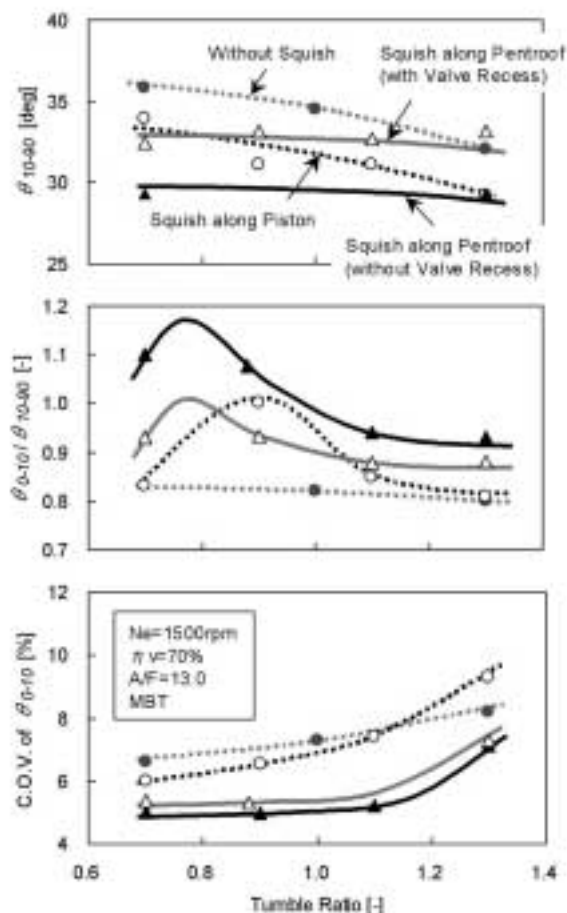


Fig.13 Effect of Tumble Ratio on Combustion Pattern and Fluctuation

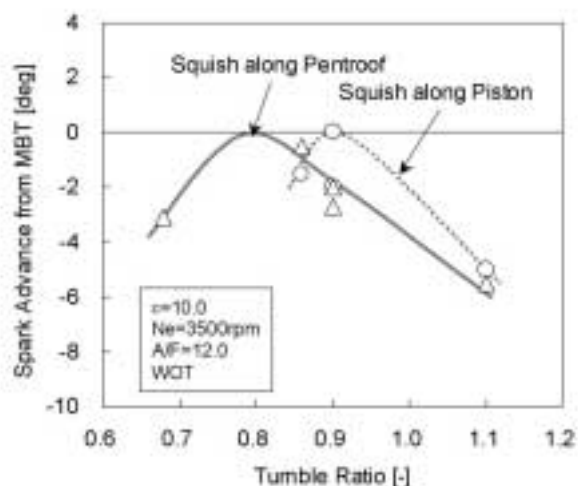


Fig.14 Effect of Tumble Ratio on Spark Advance from MBT

ンプルと逆スキッシュ流動方向を考慮して、タンプル比を適切に設定することで、強い逆スキッシュ流を形成し、後期燃焼割合を増加させることにより、ノッキング限界を大きく改善できること分かる。

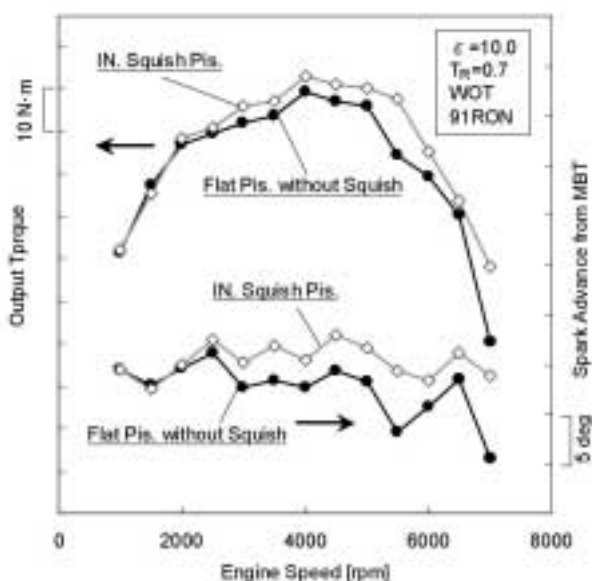


Fig.15 Improvement of Full Load Engine Performance

Fig.15は、一例として、ペントルーフに沿うスキッシュ形状（IN側スキッシュピストン）の場合のノッキング限界とトルク特性を示す。逆スキッシュ流動による後期の熱発生率と初期燃焼変動の抑制により、ほぼ全域でノッキング限界を改善し、トルクが向上する効果があることが分かった。

6.まとめ

逆スキッシュ流動を活用した後期の燃焼パターンによるノッキング改善を目的に、実機エンジンでの筒内ガス流動（タンブル流動、スキッシュ流動）、火炎伝ばや燃焼パターンの計測を行った。種々の燃焼室形状に対して、タンブルと逆スキッシュ流動方向との関係、タンブル比の影響やノッキング改善効果を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- (1) タンブルと逆スキッシュ流動方向が一致した場合には、タンブル流動を強化することで逆スキッシュ流は強くなる。逆に、流動方向が相反する場合には、逆スキッシュ流を強めるためには、タンブル流動を抑制する必要がある。
- (2) 燃焼室ペントルーフに沿うスキッシュ流動では、吸気側にスキッシュ部を設け、タンブル流動を抑制することで、逆スキッシュ流動を強化できるため、低いタンブル比で後期燃焼割合が最大となる。また、タンブル比の低減により、初期燃焼変動も抑制できる。
- (3) ピストンに沿うスキッシュ流動の場合、燃焼室ペントルーフに沿うスキッシュ流動と比較して、相対的に高いタンブル比で後期燃焼割合が最大となる。また、タンブル流を強めることで燃焼期間が短縮できる。
- (4) 燃焼室形状の違いによるタンブルと逆スキッシュ流動

の方向性を考慮することで、逆スキッシュ流動による後期燃焼の加速効果を有効に活用できるタンブル比を選定することができ、全回転領域に渡りノッキングを改善し、トルクを向上することができる。

参考文献

- (1) 中島 他：ノッキング抑制に有効な燃焼パターンの解析，日産技報，Vol.18，p.3-12（1982）
- (2) T.Ueda et al.：Effects of squish area shape on knocking in a four-valve spark-ignition engine，SAE Paper，No.1999-01-1494，p.1-6（1999）
- (3) H.Miyagawa et al.：Numerical analysis of the effects of squish geometry on a newly developed 4-valve gasoline engine，The 4th International Symposium COMODIA 98，p.227-232（1998）
- (4) M.Fujimoto et al.：Effect of swirl rate on mixture formation in a spark ignition engine based on laser 2-D visualization techniques，SAE Paper，No.931905，p.1-12（1993）
- (5) K.Kuwahara et al.：Optimization of in-cylinder flow and mixing for a center-spark four-valve engine employing the concept of barrel-stratification，SAE Paper，No.940986，p.1-12（1994）

著者



田端道彦



藤本昌彦



岩井浩平

論文・解説

34

操作性向上のための上肢可操作性予測手法の開発 Development of Arm Manipulability Forecast Technique for Ease of Operation

山田直樹^{*1} 米澤泰延^{*2} 三浦泰彦^{*3}

Naoki Yamada Hironobu Yonezawa Yasuhiko Miura

正守一郎^{*4} 川口克也^{*5} 中村誠之^{*6}

Ichiro Masamori Katsuya Kawaguchi Seishi Nakamura

要約

人にとってより扱いやすい自動車操作機器の実現をめざし、開発の初期段階で人間の筋骨格系の力学的特性と操作機器特性の適合性を評価する手法の開発を試みている。近年、設計段階において人間骨格系寸法データや発揮可能な力を予測する機能を備えた居住性・作業性検討用コンピュータマネキンが活用されているが、筋骨格系の力学的特性を十分予測できるものは見当たらない。

今回、ロボット工学のリンク解析を上肢に適用し、手先で発揮される力学的特性を楕円体としてビジュアルに表現可能な可操作性評価手法⁽¹⁾に着目した。この一手法である操作力楕円体による解析に生体特性を考慮することで「力の発揮しやすさ」を解析する手法を構築した。更にこれとコンピュータマネキンとを組み合わせることで、上肢筋骨格系力学的特性をわかりやすく表現可能な予測手法を開発した。本手法の定性的な検証のため数例の操作へ適用し、筋負担変化が予測できることが示唆された。

また、後ヒンジを持つRX-8フリースタイルドアのリヤドアの開発において、本予測手法によって得られる「力の発揮しやすさ」を考慮した設計が、操作時の筋負担低減の観点から操作性向上に有効であることが確認できた。

Summary

For ease of operation of vehicle operating equipment, we have been attempting to consider the adaptability of the mechanical characteristics of operating equipment with those of the human muscular-skeletal system at an early development stage.

We have developed a forecast technique (analysis of manually manipulating effort) for mechanical characteristics of the muscular-skeletal system by a combination of manipulating force ellipsoid, one of manipulability evaluation techniques of robotics, with a computer manikin.

This technique has worked satisfactorily in qualitative basic experiment and the operation development of the rear door of RX-8 Center-opening freestyle door system.

These results have suggested the potential of this technique for muscular load forecast and effectiveness of consideration to the mechanical characteristics muscular-skeletal system (analysis of manually manipulating effort by this technique) for improvement in the operating equipment.

* 1 ~ 4 技術研究所
Technical Research Center

* 5 CAE部
CAE Dept.

* 6 ボデー開発部
Body Development Dept.

1. はじめに

ドアやステアリングをはじめとする自動車操作機器と人間との適合性を評価する操作性の評価手法として、これまで主観評価や人間計測（筋電位、動作）による評価が用いられているが、より効率的に人間との適合性を向上させるには、設計段階での操作性の予測手法が望まれている。

近年、設計段階で居住性・作業性検討用にコンピュータマネキンが活用されているが、操作性の予測で考慮すべき筋骨格系の力学的特性を十分予測できるものは見当たらない。そこで、ロボット工学の可操作性評価手法に生体特性を考慮し、これとコンピュータマネキンを組み合わせることで、上肢筋骨格系の力学的特性に基づく「力の発揮しやすさ」を解析する予測手法を構築した。

これを本手法の定性的な検証のため数例の操作へ適用し、筋負担が予測できることが示唆された。更に、RX-8フリースタイルドアのリヤドアの操作性開発のなかにおいても本予測手法によって得られる上肢の力学的特性である「力の発揮しやすさ」を考慮することが、操作時の筋負担低減の観点からの操作性向上に有効であることが確認できたので報告する。

2. 開発のねらい

上肢筋骨格系の力学的特性予測手法の開発にあたり、

- ・人間工学の専門的知識がなくとも予測結果を直感的に理解可能とする図形による結果の提示
- ・計算負荷低減、及び、必要な人間特性データの絞り込みを可能とするシンプルなモデル化

をねらいとした。そこでロボット工学のリンク解析を上肢に適用し、手先で発揮される力学的特性を楕円体として表現可能な可操作性評価手法¹⁾に着目した。

今回、ドア操作時の筋負担予測・低減をねらい、可操作性予測手法の一手法である操作力楕円体による解析手法に生体特性を考慮し、上肢の静力学的特性の予測手法を構築した。Fig.1にドア操作時の操作力楕円体の概念図を示す。楕円体（Fig.1では楕円で表示）の主軸半径の長い方向に



Fig.1 Manipulating Force Ellipsoid

は大きな手先力を発揮することができ、短い方向には小さい力しか発揮できないことをビジュアルに表現できる。

3. 上肢の可操作性評価手法

生体の筋骨格系は多関節リンク構造と見なすことができる。そこで上肢の力学的特性を解明するにあたり、ロボットアームの可操作性評価手法¹⁾に生体のトルク特性を考慮したモデルを構築した。

一般に、 n 個の回転関節リンク構造において関節トルクは手先力 f を用いて

$$= J^T f \tag{1}$$

で得られる。ただし、手先位置姿勢ベクトル $x \in R^m$ の関節変位ベクトル q に関するヤコビ行列を $J \in R^{m \times n}$ とする。

生体の各関節における可動域や実現しうる最大関節トルクなどの特性は、関節の骨格構造や関節運動に対応する筋群によって決まり、一般に関節ごとに変化する²⁾。このような関節運動の特性を考慮した新しい評価指標を提案する。各関節が最大随意トルク発生時を1として、どの程度関節トルクを発揮しているか、その割合を関節トルク発揮度ベクトル $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)^T \in R^n$ と定義する。この時 τ を用いて、関節トルクベクトル $T \in R^n$ を

$$= T(\tau) \tag{2}$$

と定義する。ただし、 $T(\tau) = \text{diag}(\tau_1^{j_1^{max}}, \tau_2^{j_2^{max}}, \dots, \tau_n^{j_n^{max}}) \in R^{n \times n}$ ($j_i \in \{1, -1\}$ は回転方向を表す) は、各関節が角度 θ_i で発生できる最大関節トルクの絶対値を要素とする対角行列である。 $\tau_i \in [0, 1]$ は第 i 関節の最大関節トルクに対する比率であり、 τ_i の符号は関節の回転方向を表す。

式(1), (2)より、

$$= T(\tau)^{-1} J(\tau) f \tag{3}$$

を得る。 $T(\tau)$ は常に正則であるから、上式を用いて力 f に対する各関節の負担を τ として表現できる。この時、 τ の1の下で実現可能な手先力 f の集合を考えると、式(3)を用いて

$$\tau = f^T (J^T)^{-1} \chi (J^T)^{-1} f \leq 1 \tag{4}$$

で与えられる R^m 空間の楕円体となり、関節トルク特性を反映した変換行列 T によって、関節トルクを考慮しない楕円体を変形したものに相当する。この楕円体は操作力楕円体と呼ばれ、主軸半径の長い方向（長径方向）には大きな手先力を発生することができ、短い方向（短径方向）には小さい力しか発生できない。また、楕円体が球に近ければ、あらゆる方向にまんべんなく力を発生することができることを表現している。

楕円体の各主軸の方向及び長さは、式(4)における $(J^T)^{-1}$

を特異値分解して求めることができる。

今回これを上肢に適用し、肩3自由度、肘2自由度、手首2自由度からなる3リンク7関節自由度のモデルを構築した。

4. 実験による評価手法の検証

自動車の操作機器への可操作性評価手法の適用については、運転操作の快適性評価指標として最適運転姿勢の机上検討³⁾等が報告されているが、実験検討がなされた例は見当たらない。本稿では、上肢姿勢が変化する動作として、前額面での肩の外転を中心とする「横スライド動作」と矢状面での肩の屈曲が主な「上下動作」を取り上げ、実車における操作実験をもとに手法の定性的な有効性検証を行い、更に、コンピュータマネキンと組み合わせた予測手法を用い「前後動作」を取り上げた検証を行った。

4.1 横スライド動作

本動作については後席スライドドアの車外からの開け操作を対象にした (Fig.2)。ドアの機械的特性である操作カストローク特性 (F-S特性) をFig.3に示す。このスライドドアを操作する時の筋電図 (EMG) による筋負担計測、光学式三次元動作計測装置による上肢の動作計測を、被験者3名を用いて行った。筋電図例をFig.4に、動作中の上肢姿勢及び姿勢から算出した操作力楕円体を上肢手先位置の軌跡とともにFig.5に示す。なお、本稿では定性的検討を目的としたためTは単位行列としている。

ドアの操作力は開け開始直後ピークを示すが、その後低下し、開け途中から開け終了にわたりほぼ1/2以下の値で推移している (Fig.3)。一方、三角筋における筋負担はド

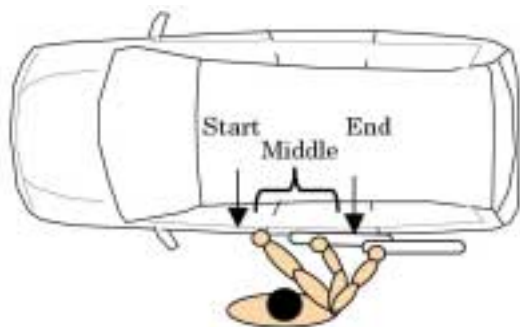


Fig.2 Operation of Slide Door

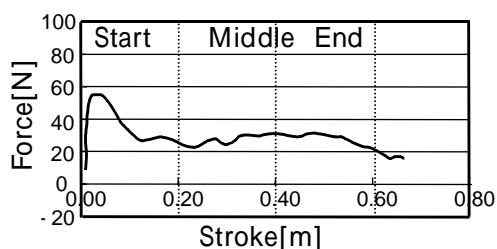


Fig.3 Force-Stroke Characteristics

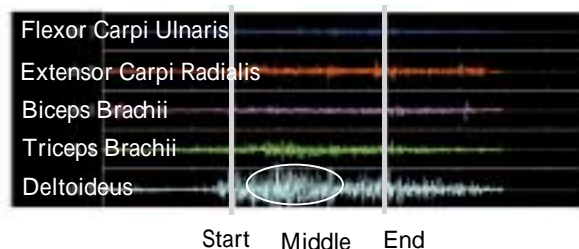


Fig.4 EMG during Slide Door Operation

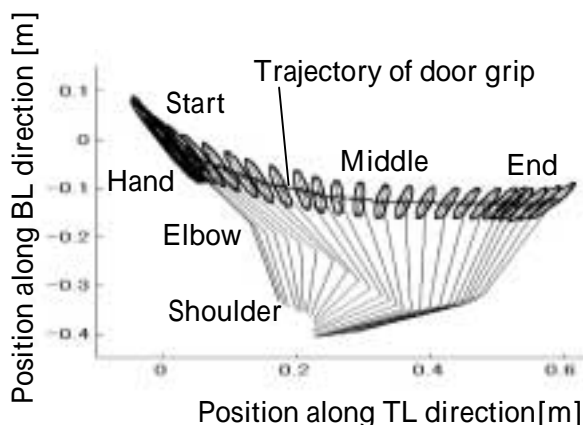


Fig.5 Manipulating Force Ellipsoid and Trajectory of Door Grip

ア側操作力が低い開け途中で大きい (Fig.4)。

これには、上肢の力学的特性である「力の発揮しやすさ」が関係していると考えられる。Fig.5より「力の発揮しやすさ」を表す操作力楕円体の長径方向 (力の発揮しやすい方向) とグリップ位置軌跡方向とはドア開け開始から開け途中の半ばまで、開度が大きくなるにつれ角度が大きくなっていき、開け途中の半ばで直交していることが分かる。この操作力楕円体の長径方向とグリップ位置軌跡とが直交している領域では、ドア進行方向に上肢は力を発揮しにくい姿勢になるため、操作力が低くなるにもかかわらず、筋負担は増加するといえる。

4.2 上下動作

上下動作はリフトゲート閉め操作をとり上げ、操作時の腕姿勢における操作力楕円体と筋負担 (筋電位) の比較を行った。リフトゲート操作時の動作姿勢と筋負担との関係については、Fig.6に示す保持動作時に筋負担が増大する傾向にある (Fig.7)⁴⁾。本動作での操作力楕円体をFig.8に示す。筋負担が大きい保持動作時に操作力楕円体の長径方向と操作方向とのずれが大きくなり、力を発揮しづらくなっていることが分かる。以上により操作力楕円体による可操作性評価手法はドア操作のような姿勢変化を伴う場合の筋負担の現象解明、推定に有効であるといえる。

5. コンピュータマネキンと組み合わせた予測手法の開発

操作力楕円体による可操作性評価手法を、コンピュータ

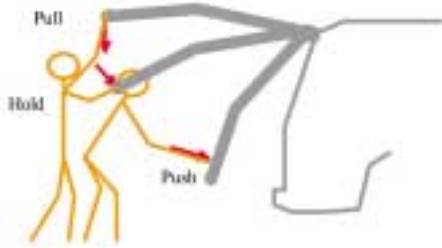


Fig.6 Operation of Lift Gate

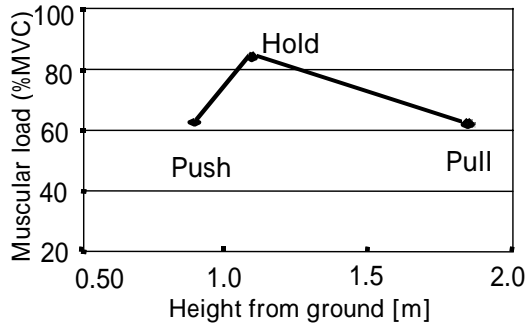


Fig.7 Muscular Load during Lift Gate Operation

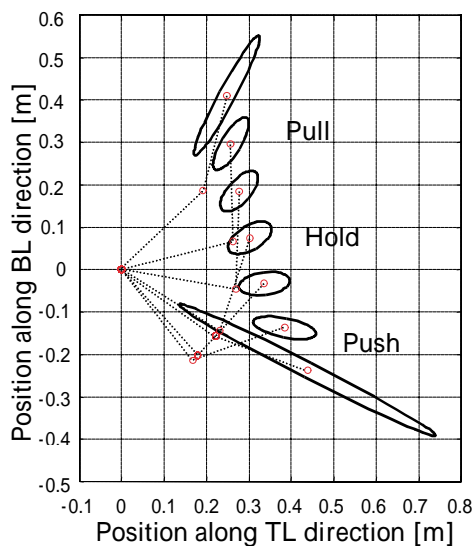


Fig.8 Manipulating Force Ellipsoid during Lift Gate Operation

マネキンと組み合わせ、「力の発揮しやすさ」の予測手法を構築した。コンピュータマネキンは手先位置を指定すると、逆動力学問題を解くことにより、腕姿勢を予測することが可能である。

Fig.9に本予測手法の概念図を示す。可操作性評価手法に必要な腕の寸法データ及び操作時の姿勢での関節角度データを、コンピュータマネキンより取得する。これにより可操作性評価を行い、結果図をコンピュータマネキン上にCAD図とともに表示するものである。

一般の前ヒンジタイプのドア操作をとり上げ、本予測手法について前章同様に定性的検証を行った。Fig.10に本予測手法による「力の発揮しやすさ」の予測結果を示す。(a)の開き始めでは、操作方向と操作力楕円の長軸方向がほ

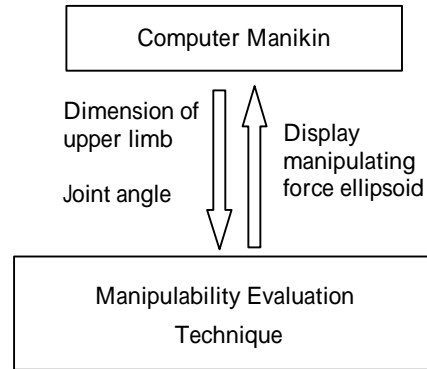


Fig.9 Forecast Technique of Manipulability

ぼ一致しているが、開き途中の(b)では不一致となっている。Fig.11に示す筋電図によるとドアを開けるにつれ筋電位が高くなっており、前章と同様の傾向が得られた。

本手法によって得られる上肢の力学的特性である「力の発揮しやすさ」の予測結果は操作時の筋負担の現象説明や推定に有効であるといえる。

6. 予測手法を用いたドア操作性向上の事例

6.1 予測手法の適用

本予測手法を後ヒンジを持つRX-8フリースタイルドアのリアドアの車室内からの開閉動作に適用した事例を紹介する。

本手法により予測された上肢の力学的特性をベースに、筋負担の低減を効果的に行うためのドア操作力の目標特性を導出した。

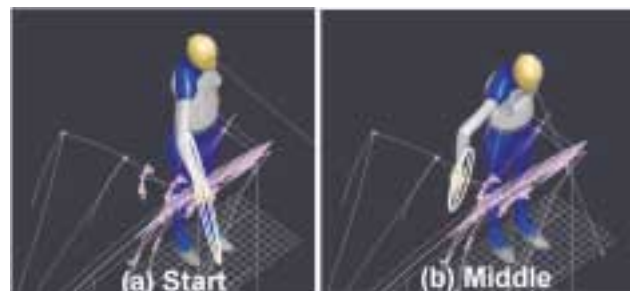


Fig.10 Manipulating Force Ellipsoid (Front Hinge Type Door)

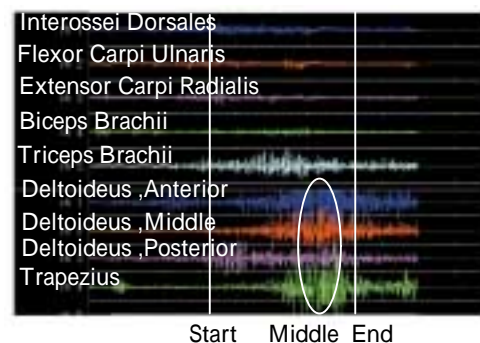


Fig.11 EMG (Front Hinge Type Door)

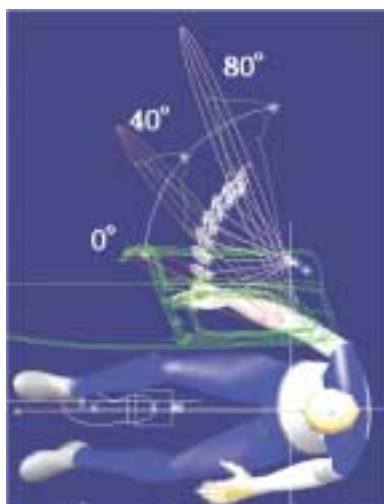


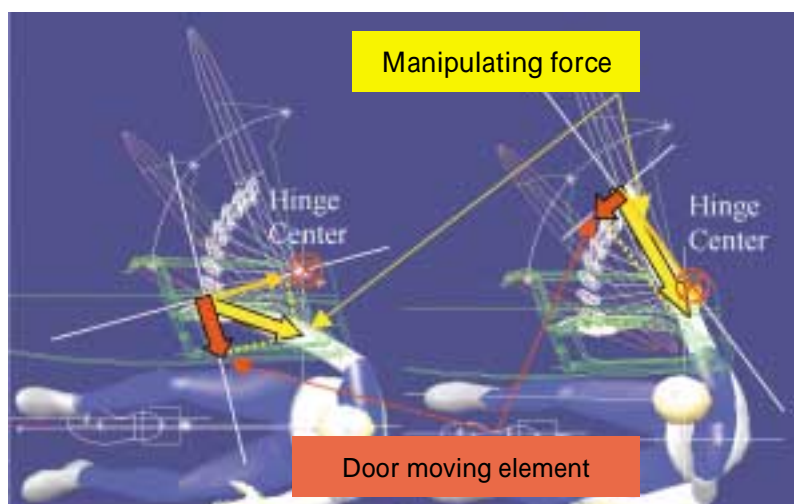
Fig.12 Manipulating Force Ellipsoid
(RX-8 Rear Door)

(1) インナーグリップのレイアウト検討

上肢とドアの接点であり、ドアの回転に作用する力を伝えるインナーグリップ（以下グリップ）のレイアウトに着目した。Fig.12に、車室内からの開閉動作におけるドア開度0°、40°、80°での操作力楕円体を示す。いずれの開度においてもドア回転操作軌跡の方向と「力の発揮しやすい」方向のずれが大きく、操作時の筋負担低減の必要性が示唆された。人間の特性を考慮せずドア回転モーメントのみで考えた場合、ドアを回転させるトルクはグリップとドアヒンジセンターとの距離に関係し、グリップは、よりドア外側にレイアウトされた方が有利である。ところが、届きやすさを考慮すると逆に不利となる。ここでは、ドアの回転への作用の効率の観点では不利になるが、まず届きやすさの観点でグリップをレイアウトし、「力の発揮しやすい」方向をうまく利用して筋負担を低減する構造を検討した。

まず人間が発揮する力がドアの回転にどのように作用するか検討するため、再度人間の動作について考察を行った。「人間は単純にドア軌跡方向のみの力でドアを操作しているのか？」日常生活では極めて巧みな動作を行っている人間が、力の発揮しづらいドア回転操作軌跡方向にのみ力を発揮するとは考えにくく、『力の発揮しやすい方向の力を利用し、ドア回転操作軌跡方向への力としている』と考えた。こうすることで筋負担をできるだけ小さくする動作を行っていると考えられる。

そこでFig.12の「力の発揮しやすさ」の予測結果をもとに、「力の発揮しやすい」方向の力をドア回転操作軌跡方向の成分とそれに直行する成分に分解した（Fig.13）。これによると「力の発揮しやすい」方向に力を発揮し、そのドア回転操作軌跡方向の成分で操作することにより、単純にドア回転操作軌跡方向に力を発揮するより大きな力を発揮できることから、筋負担を低減できる可能性があることが分かる。この「力の発揮しやすい」方向の力をうまく利用するため、手首関節に負担をかけないでこの方向



Easy to operate Difficult to operate
(a) 0° (b) 80°

Fig.13 Element of Manipulating Force Ellipsoid

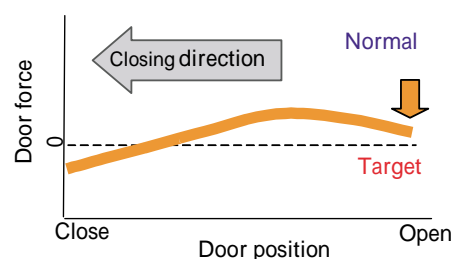


Fig.14 Target of Door Force

(Fig.13の人間側に向かう方向)に引っ張ることが可能な縦型のグリップが有効であると考えた。

(2) チェッカー特性の検討

ドア開度に着目すると、ドア開度が大きくなるに従い「力の発揮しやすい」方向の力がドア回転操作軌跡方向の成分として作用しづらくなり、ドア全開付近で最も閉めにくくなることが予測される。そこでドア操作力の目標特性をFig.14のように全開時に操作力が減じるよう設定した。この目標特性を実現するために、チェッカー部分に閉まり方向のモーメントを発生させる特性を持たせた。

6.2 実験検証

「力の発揮しやすさ」を考慮した設計が、操作時の筋負担低減に有効であることを確認するため実験検証を行った。Fig.15にドア操作の実験の様子を示す。筋電位と同時に、グリップにかかる力を圧力分布センサで計測した。被験者は日本人の平均的体格（JF50）の女性を用いた。Fig.16は圧力分布により算出した肩方向への力とドア回転操作軌跡方向への力を時系列に図示したものである。力が必要と予測した閉め始めにおいて、「力の発揮しやすい」方向である肩方向に力がかけられていることが分かる。このことから、『力の発揮しやすい方向の力を利用し、ドア回転操作軌跡方向への力としている』という仮説が妥当と考える。

目標特性に沿った操作力アシストを行っているチェッカ



Fig.15 Door Operation Test

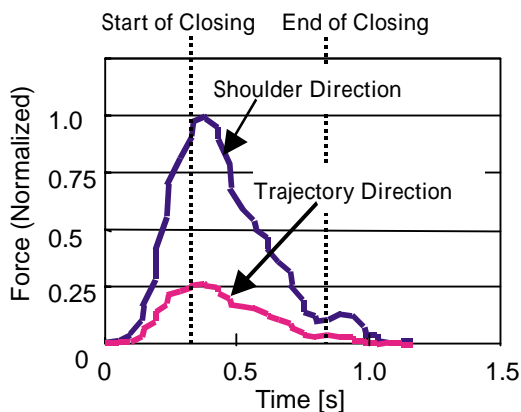


Fig.16 Analysis of Operating Force Direction

ーを装着したドアと、通常のチェッカーのドアにおけるドア閉め始めでの筋負担比較をFig.17に示す。操作力アシストを行っているチェッカーを用いたドアにおいて筋負担が半減していることが分かる。

またRX-8と同様に後ヒンジを持つ車との比較をFig.18に示す。この車はグリップがドア外側にレイアウトされており、ドアを回転させるモーメントを発生させやすい一方、グリップに手が届きにくい。これに対しRX-8では、上肢の力学的特性を考慮に入れたグリップレイアウトや操作力特性を採用することで、届きやすさとドアの動かしやすさの両立を実現している。

7. まとめ

ロボット工学の可操作性評価手法に生体特性を考慮し、これとコンピュータマネキンを組み合わせることで、上肢筋骨格系の力学的特性に基づく「力の発揮しやすさ」を解析する予測手法を構築した。定性的な実験検証により、操作途中の姿勢が大きく変化する動作において、筋骨格系の力学的特性に起因する筋負担の推定が可能であることが明らかになった。更に、RX-8フリースタイルドアのリヤドア開発への適用事例により、「力の発揮しやすさ」を考慮に入れることが操作性向上に有効なことが確認できた。

最後に本研究にご協力頂きました広島大学 辻敏夫教授、広島県立保健福祉大学 大塚彰教授をはじめ関係者の皆様方に深く感謝致します。

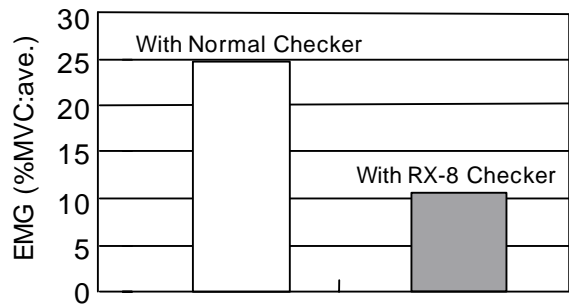


Fig.17 EMG Comparison to Normal Checker

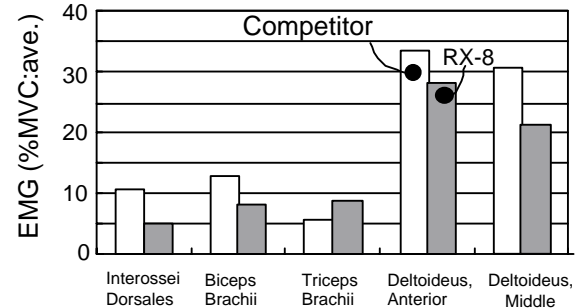


Fig.18 EMG Comparison to a Competitor

参考文献

- (1) 吉川恒夫：ロボット制御基礎論，コロナ社，第4章（1988）
- (2) 佐藤方彦ほか：人間工学基礎数値数式便覧，技報堂（1992）
- (3) M.Hada et al：An Evaluation of Vehicle Steering Arrangement with Dexterity Measures of Virtual Human，SAE technical paper 2001-01-2109（2001）
- (4) 正守一郎ほか：筋電位計測技術を用いた操作性解析 - リフトゲート閉め動作への適用 - 自動車技術会学術講演会前刷集，No.45-99，p.13-16（1999）

著者



山田直樹



米澤泰延



三浦泰彦



正守一郎



川口克也



中村誠之

論文・解説

35

環境にやさしい新塗装技術の開発 Development of Eco-friendly New Coating Technology

重永 勉^{*1} 山根 貴和^{*2} 神田 輝夫^{*3}
Tsutomu Shigenaga Takakazu Yamane Teruo Kanda
亀迫 裕介^{*4} 小笠原 敏文^{*5} 掛 正喜^{*6}
Yusuke Kamesako Toshifumi Ogasahara Masaki Kake

要約

近年、世界規模での環境保全への意識の高まりの中で、自動車生産における環境負荷物質の排出量削減の取り組みは非常に重要なものになっている。塗装工場では、塗料に含まれる揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds：以下VOC）の削減や塗装ブースの空調、乾燥炉におけるエネルギー消費により発生するCO₂の削減が急務となっている。これに対して水性塗料に代表される従来の環境対応技術は、大幅なVOC削減は達成できるが、CO₂の増加やコストアップを伴うものであった。そこで、我々は、従来と同等以上の塗装品質を維持しながらVOC削減とCO₂削減を両立する環境にやさしい新塗装技術の開発に成功し、2002年7月に防府工場に導入した。この新技術は3ウエットオン塗装と呼ばれるもので、従来の中塗り工程を上塗り工程に集約し工程短縮することで、包括的な環境対応を図るものである。この技術の導入により、VOCは水性塗装を採用する欧州規制水準以上を達成し、同時にCO₂を従来塗装に比べ15%以上削減できた。

Summary

It is very important to decrease the amount of environmentally hazardous material in automotive industry because environmental protection is internationally focused on. In automotive mass-production plants, Because paint processes emit environmentally hazardous material, such as Volatile Organic Compounds (VOC) and CO₂, consumed for air-conditioning and baking, measures against them are essential. A large amount of VOC can be reduced with conventional Eco-friendly technology, such as water-base paints, which caused increases in CO₂ and production cost. Therefore, Eco-friendly technology, having quality more than conventional coating and significantly reducing VOC and CO₂, was developed and introduced into Hofu plant in July, 2002. This technology is called "Three-Layer Wet Paint System" for all-inclusive environmental measures by integrating primer process with topcoat process. This technology materializes a level under the average of European VOC regulations, and CO₂ reduction more than a conventional method by more than 15%.

* 1, 2 技術研究所
Technical Research Center

* 3 ~ 6 車両技術部
Body Production Engineering Dept.

1. はじめに

環境保全の観点から、塗装工場で塗装時や乾燥時に排出されるトルエンやキシレンなどのVOCや、塗装ブースの空調、乾燥炉における膨大なエネルギー消費により発生するCO₂排出量の削減が望まれている。

一般的なVOC排出量の削減手法である水性塗料やVOC燃焼装置の導入では、溶媒である水を揮発させるための乾燥設備や排出溶剤を直接燃焼するための燃焼装置の追加により、CO₂排出量が従来塗装に比べて増加することになり、環境対応技術としては十分でない。しかも、大幅な設備投資や塗装コストの増加を伴う。そこで、従来の溶剤型塗料のままVOCおよびCO₂の排出量を同時に削減し、かつ低コスト化が可能な新しい塗装方法「3ウエットオン塗装技術」を開発したので、その技術内容について紹介する。

2. 開発目標とアプローチ

2.1 開発目標

VOC排出量の目標値は、現在世界で制定されている規

Table 1 VOC Regulations in the World

Area	VOC emission
Germany(TA-Luft)	Less than 35 (g/m ²)
UK (EPA PG6/20)	Less than 60 (g/m ²)
USA (CAAA RACT)	E-Coat Process: 0.16 (kg/l) Primer Process: 1.40 (kg/l) Topcoat Process: 1.47 (kg/l)

Table 2 Kyoto- protocol Outline

Item	Contents
Object gas	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆
Standard age	1990
Deadline	2012
Japan reduction	6%

Table 3 Development Targets

Emission	VOC	60→35 g/m ²
	CO ₂	6% reductions
Cost	Less than conventional coating	
Coating quality	Equal to conventional coating	

制値の中で最も厳しいドイツの35 g/m²以下とした (Table 1)。CO₂排出量は、気候変動枠組条約第3回締約国会議 (COP3 京都会議) にて規定された6%削減⁽¹⁾を目標値とした (Table 2)。塗装コストは現行塗装工程と同等以下を、塗装品質は現行塗装工程と同等を目標とした (Table 3)。

2.2 開発アプローチ

従来の塗装工程は、電着 / 中塗り / 上塗り (ベース塗装 / クリア塗装) で構成されている。この内の中塗り工程を上塗り工程に集約し、中塗り / ベース塗装 / クリア塗装を連続して塗装後、3層を一度に焼付けする3ウエットオン塗装 (Fig.1) を採用する。この3ウエットオン塗装はこれまでツートン下部色部分に適用されていたが⁽²⁾⁽³⁾、表面光沢が低下するなどの課題のため車全体に適用することはできなかった。この課題を新規低溶剤型塗料、塗料使用量削減技術および工程集約技術の開発により解決し、車全体に適用する。開発の狙いと開発アイテムの関係をFig.2に示す。

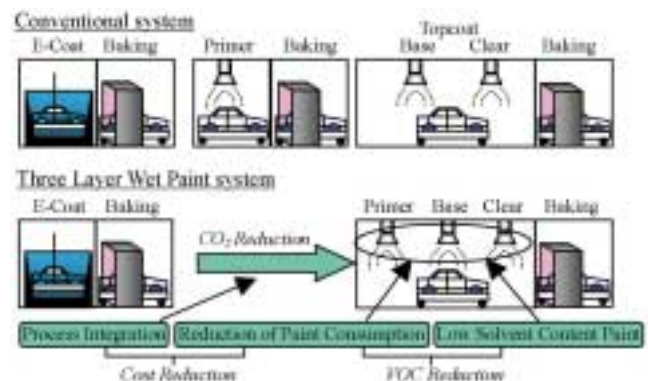


Fig.1 Comparison of Paint Systems

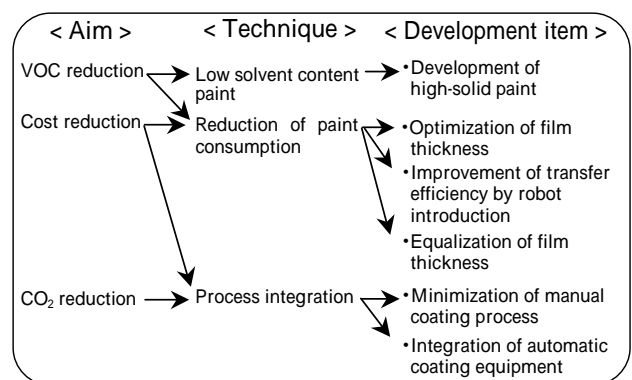


Fig.2 Development Approach

3. 塗料の低溶剤化

塗料中の溶剤の動きは、塗料の粘度を塗装可能な状態に低下させることと塗装後の塗装面の平滑性を確保することにある。したがって、単純に溶剤を削減すると塗料粘度が上昇し、一般的なエア霧化式塗装や静電ベル型塗装では塗装できない、あるいは塗装面の平滑性が低下する、などの悪影響がある。そこで、塗料を低溶剤化するために中塗り、ベース、クリア塗料の分子量を小さくし、樹脂粘度を低下させる手法を採用した。

しかし、3ウエットオン塗装では、中塗り/ベース塗装を焼付けなしで連続して塗装するため、樹脂の低粘度化により、中塗り/ベース界面で塗料が混ざり (Fig.3)、色の濁りが発生した。

混ざりを防ぐには中塗りの高粘度化が有効であるが、塗装作業との両立を図るために中塗り/ベース界面のみ高粘度化させることとした。具体的な達成手法として、中塗り塗料の基本樹脂 (ポリエステル樹脂) を低粘度化し、その樹脂と溶解性パラメータ (SP) の異なる高粘性樹脂 (アクリル樹脂) を補助樹脂として添加した塗料を開発した。この塗料は、基本樹脂中に添加した高粘性樹脂が塗装後に低粘度樹脂とのSP値の差により中塗り塗膜表面に偏析し、ベース塗料との混ざりを防ぐバリアー層として機能するため色の濁りを防止できる (Fig.4)。本塗料の開発により、中塗り/上塗り塗料中のVOC量を合計で約30%削減することができた。

4. 塗料使用量削減

塗装工程からのVOC排出量の削減を狙う場合、使用する塗料に含まれる溶剤量の削減と併せ、塗料使用量の削減が有効である。塗料使用量の削減方法として、塗装膜厚の適正化、塗着効率の向上、塗装膜厚の均一化の3つの観点から取り組んだ結果、塗料使用量を15%削減することができた。

4.1 塗装膜厚の適正化

一般的に塗装面の平滑性はウエットな状態の塗装膜厚 (ウエット膜厚) と相関関係があり、ウエット膜厚を厚くするほど塗装面の平滑性は向上する⁽⁴⁾。これは塗装焼付け前の流動性を有するウエット膜により下地の鋼板や電着塗装の荒れた下地表面を覆い隠すためと考えられる。

3ウエットオン塗装では中塗り焼付け工程が廃止されるため、焼付け工程前のウエットな状態の塗膜構成は、従来の中塗り塗膜単層に対し、ベースおよびクリア塗膜も加わる。したがって、流動性を有するウエット膜厚が従来塗装に比べ厚くなるため、塗装面の平滑性に対しては有利となり、単層当たりの塗装膜厚を削減できる。

(1) 中塗り塗膜の薄膜化

従来の中塗り塗膜には、外観確保と耐久性確保の2つの要求機能があり、外観確保のためには30 μ m以上の膜厚が、耐久性確保のためには20 μ m以上の膜厚が必要である。したがって従来塗装では両方の機能を満足させるために30 μ m塗装していた。しかし、3ウエットオン塗装では、中塗り塗装、ベース塗装およびクリア塗装を一度に塗装するため、外観確保に必要なウエット状の塗装膜厚30 μ mは中塗り塗膜単独で確保する必要がない。よって中塗りの機能は耐久性のみに限定されることにより膜厚を20 μ mまで薄膜化できた。

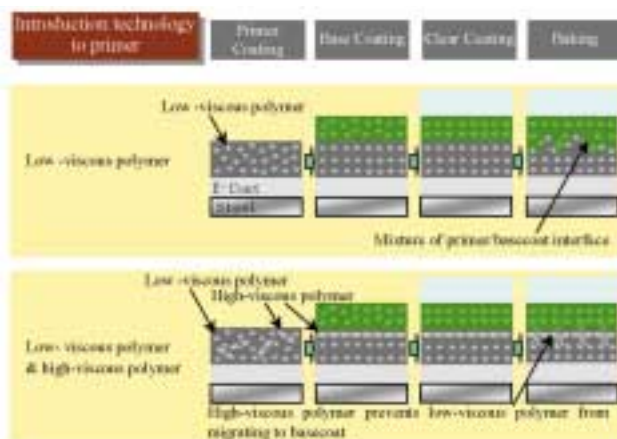


Fig.4 Function of High-viscous Polymer

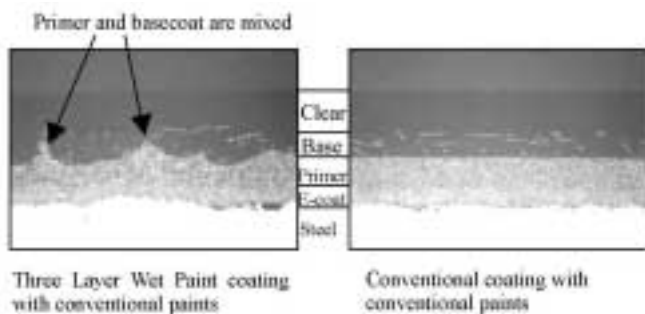


Fig.3 Comparison of Coating Cross-sectional Surface

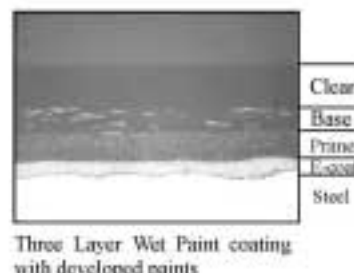


Fig.5 Cross-sectional Surface of Developed Coating

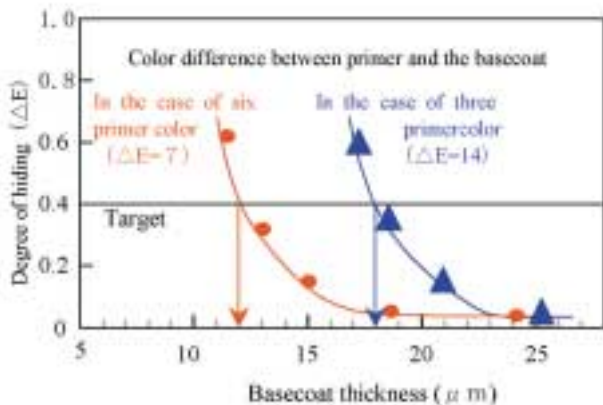


Fig.6 Relationship between Primer/Basecoat Color Difference and Degree of Hiding

(2) ベース塗装の薄膜化

ベース塗装塗膜の要求機能は発色の確保である。下地である中塗りの色はベース塗装の色と異なるため、中塗りの色を隠蔽しベース塗装本来の塗色を得るには一定量以上の塗装膜厚が必要である。この必要膜厚は、ベース塗装と中塗りの色差 (E) により変化し、 E を小さくすることにより薄膜化できる。自動車には種々の塗色が設定されており、多岐に渡るベース塗装色域の幅により中塗り/ベース塗装間の E は大きくなるため、ベース塗装膜厚の抑制には複数の中塗り色採用が有効である。今回、中塗りを3色から6色にすることで、中塗り/ベース塗装間の E を14以下から7以下に近づけることができた。この結果、塗装の隠蔽度を変えることなく、ベース塗装の塗装設定膜厚を18 μmから12 μmに薄膜化できた (Fig.6)。

(3) 内板部への中塗り塗装の廃止

従来の中塗り塗装は、外板塗装時に内板へ付着する塗装ダストによる肌荒れを解消する目的でボデーの外板部に加えてドアやキャブサイドなどの内板部にも塗装されていた。しかし、3ウエットオン塗装ではダストとして付着している中塗り塗料がウエットな状態でベース塗装が塗装されるため、中塗りダストとベース塗装がなじみ、肌荒れが発生しない (Fig.7)。このメリットを活かし内板部への中塗り塗装を廃止した。

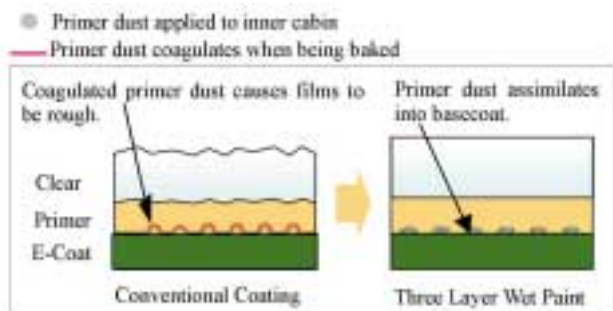


Fig.7 Effect of Three Layer Wet Paint on Film Smoothness

4.2 ロボット塗装による塗着効率向上

塗着効率とは、塗装面に対して塗装された塗料が塗装面に付着する割合を示す。塗着効率が高いほど塗装時の塗料ロスが少なくなる。

この塗着効率が悪化する原因としては、塗装時の塗料の非塗物以外への飛散と跳ね返りがあり、以下の対策を実施した。

静電ベル型塗装機の塗装条件を整理し、塗着効率に対する寄与率を実験計画法により明らかにした (Table 4)。その結果、塗着効率は塗装距離との相関が最も高く、一定の塗装距離を保つことが塗着効率を向上させる上で最も有効であることが分かった。

この塗装距離を一定に保つため、新たに塗装ロボットを導入し、車体を形状の似通ったブロック毎に塗装することとした (Fig.8)。この結果、塗装距離のばらつきを ± 50mm から ± 10mm に削減することができ、塗着効率をベース塗装で63%から75%に、中塗りおよびクリア塗装で75%から85%に向上できた。

Table 4 Verification by Design of Experiment

Factor	Sum of squares	Degree of freedom	Unbiased estimate of population variance	F0	R-Square
Speed of bell	13	2	6.3	1.65	0.8%
Painting distance	355	2	177.3	46.24	59.3%
Amount of exhaust	52	2	25.8	6.72	7.5%
Rotation speed of bell	55	2	27.7	7.23	8.2%
Flowing quantity of S/A	13	2	15.4	4.02	4.0%
Impressed voltage	27	2	13.3	3.46	3.2%
E	54	14	3.8	-	17.0%
Total	585	26	-	-	100.0%

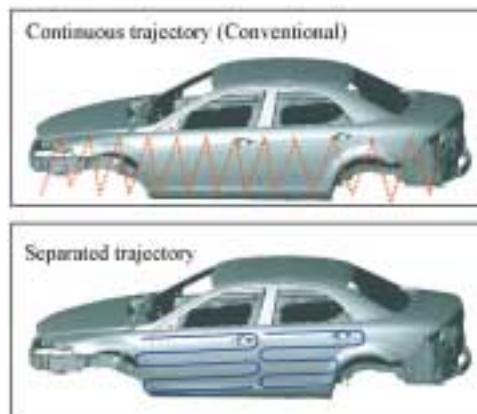


Fig.8 Comparison of Robot Trajectory

5 . 工程の集約



Fig.9 Reduction of Over Spray

4.3 塗装精度の改善による塗装膜厚の均一化

車体をブロック毎に塗装する場合、ブロック間の隣接部は、塗装膜厚が不均一になりやすい。これは隣接部の塗装が2度塗り（オーバースプレー）となるため、塗装膜厚を均一化するためには、オーバースプレーを抑制すること、すなわち塗装の一時中止（塗装カット）が効果的であり（Fig.9）、この塗装カットを精密にコントロールする必要がある。塗装カット条件としては、塗装時と未塗装時の切換え反応スピードが最も重要であり、これに対応する塗装制御技術を開発した。

切換え反応スピードは、車体の塗装スピードから逆算し、0.08sec以下にする必要があるが、この切換えスピードを阻害する原因として電気信号およびエア信号の遅れが考えられる。この対応として、電気信号に対しては処理ソフトの高速化と処理経路の単純化を行い、エア信号に対しては要因となるホース長の最短化を行い、全ロボットに対して狙いの応答性を確保した。

CO₂排出量の削減、光熱費および人件費の削減を狙い、従来の上塗りブース（長さ75m、幅5m、高さ3.8m 目標値）を延長することなく中塗り工程を上塗りブース内に集約し、従来使用してきた中塗りブースの完全停止を目指した。

このために、人間が塗装するマニュアルゾーン、塗装ロボットが塗装する自動塗装ゾーンを見直し、各々に対して無駄なく配置できるレイアウトに集約した（Fig.10）。

5.1 マニュアルゾーンの極小化

従来の上塗りブースレイアウトでは、ベース塗装の2ステージ間に自動塗装ゾーンとマニュアルゾーンを交互に配置していたため、ブース内に塗装作業を行わない無駄なスペースが多く存在していた。

そこでベースゾーンにおいて自動塗装ゾーンとマニュアルゾーンを1箇所ずつにまとめることで無駄なスペースを減らした。また、マニュアルゾーンの作業者の配置や担当作業の配分を見直すことで、必要な仕事量とラインスピードを確保したままライン長を短縮した。この確保した上塗りブースの空きスペースに中塗り塗装工程を移管することにより、中塗りブースの完全停止を実現した。

5.2 自動塗装設備の集約

今回導入した塗装ロボットを、上塗りブース内の制約されたスペースに効率的に集約するため、塗装機数の削減に取り組んだ。

従来のレシプロ塗装機は、作動自由度が低いいため部位によってポデー1台当たりの仕事量、つまり塗装面積の差が大きく、平均の仕事量も少ない状態であった。そこで、塗装ロボットでは1台当たりに分担させる塗装範囲を平準化して塗装機1台当たりの仕事量を引き上げた。また塗装機

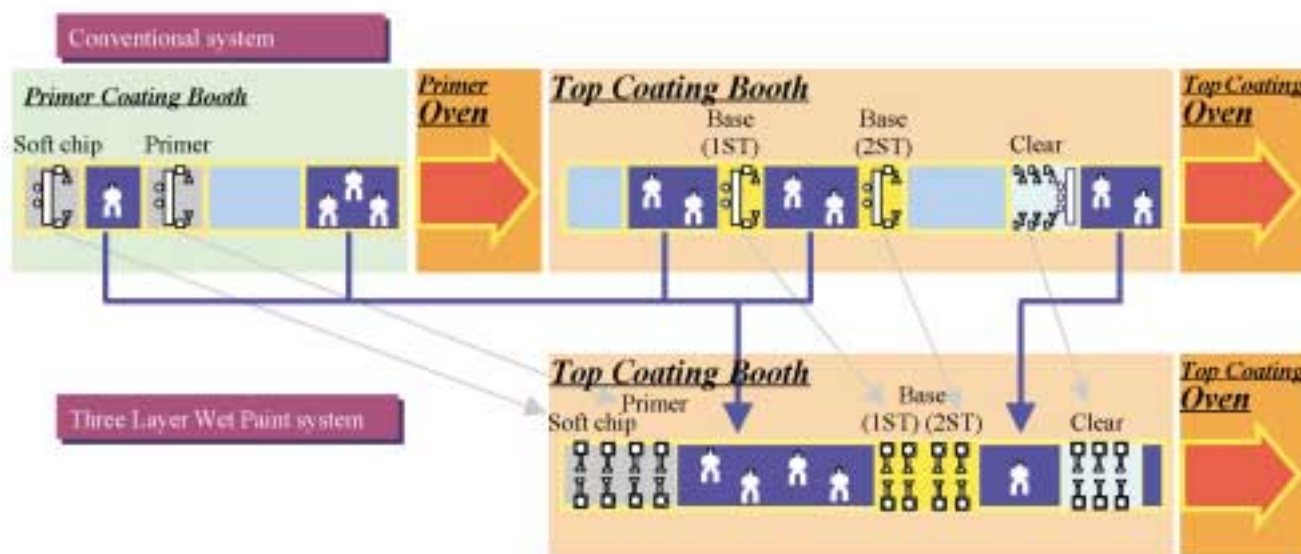


Fig.10 Integration of Paint Booths

の軌跡を見直すことで、塗装後の折り返し時間を短縮し未塗装状態での動作を少なくすることで塗装機の効率を向上させた。これら塗装機の効率アップにより、中塗りおよび上塗りの塗装機数を従来の30基から22基に削減し、75mの上塗りブースの中に、チップングプライマー、中塗りおよび上塗り塗装に必要な全ての塗装ロボットを配置することができた。

またブース内の配置を考えた場合、塗装ロボットは動作自由度が大きいことから、他ロボットや付帯設備およびブース内壁との干渉が懸念される。そこで各ロボットの動作空間をもとに、高さ/幅方向に最もコンパクトに塗装できる設置位置およびロボット姿勢をRobcadを用いて机上検証することにより、上塗りブース幅5m、高さ3.8mの制約の中で塗装可能なロボット配置を実現した。

6. 導入結果

以上のように3ウエットオン塗装技術を開発し、2002年2月より量産車への適用を開始した。その後、順次適用色を拡大、7月に全塗色への適用を完了した。

この技術の導入による効果は以下の通りである。

(1) VOCおよびCO₂排出量の削減

VOC排出量は従来の60g/m²からドイツ規制値並みの35g/m²となり、約45%の削減を達成した。また、CO₂排出量は、従来の中塗りブースでの発生分と同量である15%を削減でき、開発目標値である6%削減を過達することができた。

(2) 塗装品質

塗装外観は、色調、平滑性共に従来塗装と同等の品質を維持することができた。

また、耐候性、耐チップング性などの耐久品質においても従来塗装と同等であった。

(3) 塗装コスト

ボデー1台当たりの塗装コストは、従来塗装に比べて15%削減できた。

7. おわりに

塗料の低溶剤化、塗料使用量の削減、工程集約の三つの対応により包括的な環境対応技術として3ウエットオン塗装を完成することができた。

今後、本技術をマツダの新たな標準塗装として他工場に展開していくと同時に、水性塗料への適用など更なる技術開発に取り組むことによって、環境対応技術としてより一層の熟成を図っていく。

参考文献

- (1) 小松澤俊樹：環境保護と主要法規制（第1回）、塗料の研究（関西ペイント）、No.138、p.42-45（2002）
- (2) 森政義：ツートン色の中塗り同時工法、塗装工学、Vol.33、No.4、p162-165（1998）
- (3) 亀迫裕介ほか：ツートン車の3Wet-on塗装技術の開発、マツダ技報、No.18、p119-125（2000）
- (4) 山根貴和ほか：高仕上がり塗装技術の開発、自動車技術会学術講演会前刷集、No.891、p127-130（1989）

著者



重永 勉



山根貴和



神田輝夫



亀迫裕介



小笠原敏文



掛 正喜

論文・解説

36

内装用樹脂材料の「タッチ感」向上技術 Technology for Improving “Touch Feel” of Interior Plastic Material

田中 力^{*1} 梶川 浩子^{*2} 大西 正明^{*3}
Chikara Tanaka Hiroko Kajikawa Masaaki Onishi

要約

近年、欧州車を中心に内装の質感が著しく向上している。内装の質感には多くの要素が存在するが、最近の動向として視覚的な質感だけでなく、製品表面を軽く触れた際の「タッチ感」も重要な要素となりつつある。しかし、「タッチ感」を定量的に示す指標がなく、内装用樹脂材料の組成との関係も不明確であった。

我々は材料組成による「タッチ感」の制御を目的とした研究を重ね、「タッチ感」を説明する感性因子の数値化と、感性因子と相関が高くかつ材料組成に反映できる物理特性の特定について検討してきた。その結果、樹脂材料の「タッチ感」は「乾湿感」と「硬軟感」で説明でき、数値化も可能となった。また、「乾湿感」と「硬軟感」は樹脂材料の「摩擦」特性と「圧縮」特性によって代用でき、特に「圧縮」特性では樹脂材料の「硬軟感」と高い相関が得られる極低荷重での測定条件を見出した。更に熱可塑性エラストマー材料(以下TPO)を対象に、本知見とTPO組成の関係を明確にし、「タッチ感」の優れたTPOを開発してRX-8のフロントアームレスト表皮に適用した。

Summary

Recently, interior quality has improved remarkably, mainly in European cars. The interior quality has a lot of elements in it. Recently, not only visual quality but also “touch feel” at light touch of a product surface is becoming an important element. However, there was no quantitative index of “touch feel”, and the relation between “touch feel” and the composition of the resin material for interior was not also clarified.

We have advanced researches for controlling “touch feel” by material composition. We have been examining a quantification of sensory factors, which corresponds to “touch feel”, and physical properties which correlates closely with the sensory factors and can be incorporated into material composition. As a result, “touch feel” of plastic material can be explained with “dry and wet feel” and “soft and hard feel” and can be quantified. Moreover, “friction” and “compression” properties of the resin material were substituted for “dry and wet feel” and “soft and hard feel”. The measurement condition was found, especially in the “compression” property at ultra low load that has a high correlation to “soft and hard feel” of plastic material. In addition, concerning a thermoplastic elastomer (TPO), by clarifying the relation between these physical properties and TPO composition, we developed TPO which is superior in tactile sense and have adopted the material for RX-8 front armrest skin.

* 1 ~ 3 技術研究所
Technical Research Center

1. はじめに

近年 欧州車を中心に内装の質感が著しく向上している。従来の質感向上では内装の多くの面積を占める樹脂部品の見た目のプラスチック感を排除することを狙い、艶の低い樹脂材料や塗料による視覚質感の向上が主流であった。

一方、近年の調査では、触れて評価する顧客を考慮したと考えられるソフト塗装やラバーパーツなど「タッチ感」を改善する商品が増えており、社内クリニックの結果でも内装質感を構成する要素として「タッチ感」が視覚質感に劣らず重要であることがわかってきた。しかし、自動車用内装部品に関する「タッチ感」を定量的に示す指標についての研究は精力的になされているようであるが、人間の感覚とのマッチングが乏しく、研究成果としてはソフトフィニッシュ塗装の事例⁽¹⁾などが挙げられるのみであり、材料開発にまで言及するものは少ない。この課題に対し、我々は上記「タッチ感」を指先で製品表面を軽く触れた際の触感と定義し、材料組成による「タッチ感」の制御を目的とした研究を重ねてきた。

本稿では、「タッチ感」と高い相関を持つ独自の物理特性指標の明確化とその計測手法の確立により、リサイクルの容易なTPOを対象に上記物理特性と材料組成の関係を明確化することで「タッチ感」の優れたTPOを開発したので報告する。

2. 開発のステップ

本研究では、以下の三つのステップで開発を進めた。

- (1) 「タッチ感」を説明する感性因子の数値化と主要因子の絞込み
- (2) 主要感性因子と高い相関を持つ材料の物理特性の特定
- (3) 物理特性に基づいたTPOの組成改良

3. 「タッチ感」の数値化と主要感性因子の絞込み

3.1 「タッチ感」を表す感性因子の定義

人間の感覚には大きく分けて「好き嫌い」のように個人の嗜好による部分と「大きい小さい」のようにある程度量的に表現できる部分がある。一般に前者を「好み(嗜好)」、後者を「計量値」といい、さらに計量値の中には「感性因子」という感性を構成する基本的な量があるといわれている。今回の目的は機械で計測される物理特性と「タッチ感」の関係明確化であることから、感覚の中でも数値表現しやすい「感性因子」を「タッチ感」を表すものとして研究を進めた。ここでいう「感性因子」は、これまでの研究例から、「乾湿感」「粗滑感」「硬軟感」「温冷感」の四つとした⁽¹⁾⁽²⁾。

材料開発での目標値である物理特性との定式化により、狙いの「タッチ感」を材料組成によって制御する技術の基盤構築を目指し、これら四つの感性因子の数値化と主要因

子の絞り込みに取り組んだ。

3.2 実験方法

(1) 数値化の手法

人の感覚を数値化するにあたり一般によく用いられるのが官能評価である。これは評価する人(被験者)に対して評価対象を提示し、その回答を解析して数値化するものである。人間は物事を判断するとき、もの自体の本質だけでなく周囲の状況や個人的状況の影響を受ける。このため評価基準が明瞭でなく、変動しやすいため判断しにくい場合が多い。しかし、二つのものを比較する方法であれば比較的簡単に評価、判断できる。そこで評価法としてこの一対比較法を採用し、さらに一対比較法の中でも比較順序を考慮せず評価を行い評点で結果を表すシェッフェの一対比較法(中屋の変法)を用いた⁽³⁾。

(2) 評価試料

評価可能な触感領域の網羅性を確保するため、さまざまな触感を有する板厚3mmの平板状樹脂試料を準備した(Table 1)。なお、評価試料は、実際の内装材の状態を反映できるように、すべて同一の皮革シボを設けた。

(3) 被験者

プラスチックに関する専門知識を持たない20代と30代の男性15人と女性15人で合計30人とした。

(4) 質問用紙の作成

質問用紙の作成には、被験者の判断基準として各「感性因子」ごとに「かさかさ」、「べたべた」といった一対の評価用語を設定した。また、各因子間で混同が生じない用語の選定を行うため、本開発メンバーによる事前評価を実施し、各試料間に差があるかどうかを示す主効果が1%の危険率で有意であることを確認した上で、Table 2に示す質問用紙にて評価会を実施した。

Table 1 Distribution of Experimental Sample

Sample No.	Material	Molding Application
1	PVC	Injection
2	PP	Injection
3	TPO	Injection
4	TPO	Injection
5	TPO	Injection
6	TPO	Injection
7	TPO + PP foam	Press vacuum

Table 2 Questionnaire

Compared with this sample	A right sample is	considerably "moist"	somewhat "moist"	equal or no difference	somewhat "dry"	considerably "dry"
1	2	2	1	0	-1	-2
	3	2	1	0	-1	-2
	4	2	1	0	-1	-2
	5	2	1	0	-1	-2
	6	2	1	0	-1	-2
	7	2	1	0	-1	-2
	8	2	1	0	-1	-2
2	3	2	1	0	-1	-2
	4	2	1	0	-1	-2

Table 3 Analysis of Variance

Factor	Sum of squares	Degrees of Freedom	Unbiased Variance	F-Value	Judgement symbol
Hard-Soft	228.2381	6	38.0397	80.3005	** :1% significance level
Dry-Moist	260.8571	6	43.4762	62.9067	**
Rough-Smooth	110.7714	6	18.4619	29.7086	**
Hot-Cool	80.0190	6	13.3365	26.8505	**

3.3 結果と考察

(1) 分散分析結果

分散分析結果のうち、各感性因子の主効果をTable 3に示す。これより以下の2点がいえる。

- ① 四つの「感性因子」の主効果では、いずれも危険率1%で有意差が認められ、本評価会が有意義であった。
- ② 四つの「感性因子」の主効果についての分散比を比較すると、相対的に「乾湿感」と「硬軟感」が大きく、「粗滑感」「温冷感」は小さかった。

(2) 分散分析結果の考察と主要因子の絞込み

上記②の結果より、樹脂材料の「タッチ感」に関する主要な感性因子を「乾湿感」と「硬軟感」とした。一方、「粗滑感」「温冷感」の数値が小さいことは、次のように説明できる。「粗滑感」は試料表面のシボによる凹凸を感じて判断していると考えられるが、本評価会の試料はすべて同一のシボであり、試料間の凹凸に大きな差がなかった。また、「温冷感」は指先から試料へ移動する熱量を感じていると考えられるが、本評価会の試料はすべて樹脂であり伝熱特性に大きな差がなかったためであると考えられる。

4. 材料物理特性の特定

4.1 「タッチ感」を表す物理特性の特定

指で軽く試料に触れる時の「タッチ感」を説明する物理特性を特定するにあたり、Fig.1に示すように被験者の試料に触れる動作が「押す」動作と「擦る」動作に分けられること、評価会での被験者の感想及び過去の文献⁽¹⁾より「圧縮」特性、「摩擦」特性、「吸熱」特性の3特性が重要と考えた。これら3特性に関し、感性因子と相関が高くかつ材料組成に反映できる物理特性の特定について検討した。

4.2 「圧縮」特性を表す物理量

「圧縮」特性を表す物理量を模索するにあたり、各試料

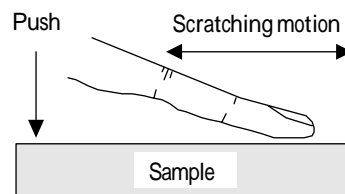


Fig.1 Trial Subjects Motion

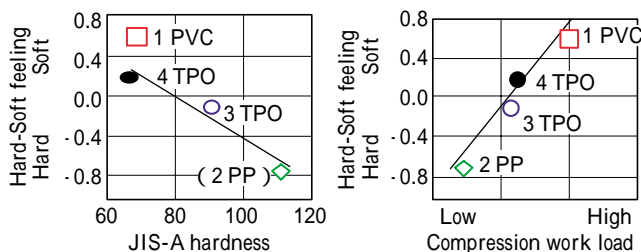


Fig.2 Adaptability of Compression Characteristics

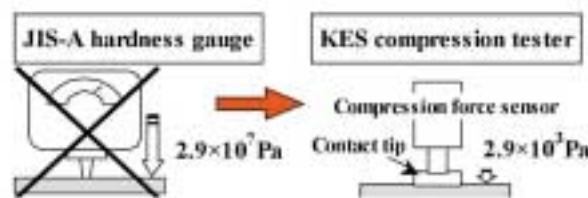


Fig.3 Method of Compression Factors

について樹脂材料の硬さの指標として広く用いられているJIS硬度の計測を行った。これは値が大きいほど「硬い」ことを示すものである。「硬軟感」評点との関係を検証した結果、Fig.2左に示すように同等のJIS硬度である試料1と試料4が「硬軟感」評点では大きく異なっていることから、内装樹脂部品の「タッチ感」を表す物理量には不向きであることがわかった。

この原因として考えられたのが単位面積あたりの荷重である。硬度計の先端は細くなっているため、単位面積あたりの荷重を算出すると 2.9×10^7 Pa以上の高い荷重となり、我々が定義する「タッチ感」を再現する値とは程遠いことがわかった (Fig.3左)。そこで、試料の触り方を「指の動作速度」、「指と試料の接触面積」、「指で試料を押す力」として、これらの実際について調査した結果、以下のことが分かった。

- ・指の動作速度 ~ 10 mm/sec
- ・指と試料の接触面積 $1 \sim 2$ cm²
- ・指で試料を押す力 $\sim 2.9 \times 10^3$ Pa

この条件で試料の「圧縮」特性を計測可能な機器として布地の風合いを試験するための装置「KES圧縮試験機」の適用を試みた。この装置は、布地を指で触った時の感覚(硬軟感)を変形(圧縮)に要するエネルギー量として計測するものである (Fig.3右)。

圧縮速度や荷重の条件を検討した結果、「硬軟感」評点と一致する条件を見出し (Fig.2右), 本試験時の圧縮波形から得られる六つの物理量を用いることとした (Table 4)。Fig.4に示すように、各物理量は以下の式で表される。

- ・ 圧縮仕事量 = aの面積 + bの面積
- ・ 圧縮回復仕事量 = bの面積
- ・ 圧縮回復性 = bの面積 / (aの面積 + bの面積)
- ・ 圧縮剛さ = (aの面積 + bの面積) / ABCの面積
- ・ 圧縮歪量 = xの長さ
- ・ 圧縮歪率 = xの長さ / Xの長さ

4.3 「摩擦」特性を表す物理量

「圧縮」特性と同様に布地を指先で撫でる動作を模した「KES摩擦試験機」を用いて「摩擦」特性 (平均摩擦係数, 摩擦係数平均偏差) を計測した。

本装置はFig.5に示すように、試料台が移動することによって、錘により一定の荷重をかけた摩擦子と試料表面が擦れる際に発生する反力を試料表面の「摩擦」特性として計測するものである。

摩擦子の先端に 0.5mm程度のピアノ線を幾重にも巻くことで指紋のある指先で撫でると同様の効果を出し、平均摩擦係数と摩擦係数平均偏差が大きいほど試料表面が粗く引っ掛かる感じ、小さいほど滑らかな感じといえる。

「圧縮」物理量と同様に荷重条件を検討した結果、「乾湿感」評点と一致する計測条件を見出し、これら物理量を用いることとした (Table 4)。

4.4 「吸熱」特性を表す物理量

これまでの機器と同様に熱の授受を計測する装置として布地を指で触った時の感覚 (温冷感) を熱の移動量として計測する「KES熱物性測定機」を用いた。

本装置はFig.6に示すように、水によって温調された試料台の上に試料を設置し、試料台の温度より一定温度高く予熱された貯熱板を試料に接触させ、貯熱板の熱量が試料へ移動する際の熱流束の最大値を読み取ることにより試料

表面の「吸熱」特性を計測するものであり、値が大きいほど冷たい感じと言える。検討した結果、材料種を層別できており、補正パラメーターとして有用と考え、データとして用いることとした (Table 4)。

4.5 各物理量の特定

主要感性因子と関連の高い材料物理特性を特定するため、Table 4に示す物理量と「乾湿感」及び「硬軟感」各感性因子の評点との重回帰解析を行った。その結果、いずれも重相関係数Rが0.86以上の高い相関で以下の回帰式を得た。また、各感性因子の評点と本式の予測値との比較を行うことで本式の確からしさも検証できた (Fig.7, 8)。

「乾湿感」(べたべた+, かさかさ-) = -68.16 × 摩擦係数平均偏差 - 33.77 × 圧縮仕事量 + 1.77 (1)

「硬軟感」(軟らかい+, 硬い-) = 43.87 × 圧縮仕事量 + 0.56 × 圧縮回復性 - 1.26 (2)

Table 4 Multiple Regression Parameter

Physical Quantities	parameter
Compression	Compression work road
	Repulsive work road
	Recovery work road rate
	Compression stiffness
	Compression displacement
	Compression displacement rate
Friction	Friction coefficient
	Average deviation of frictional coefficient
Endothermo	Heat flow bundle

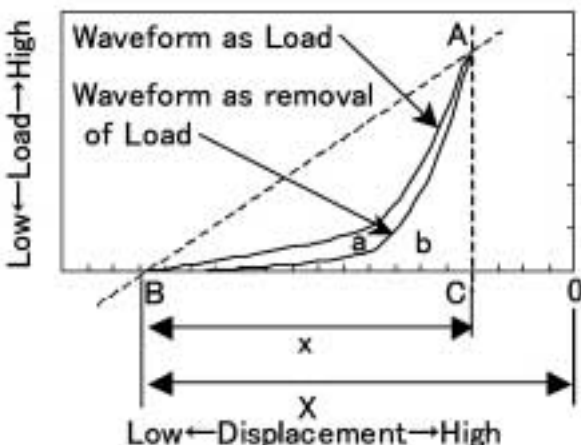
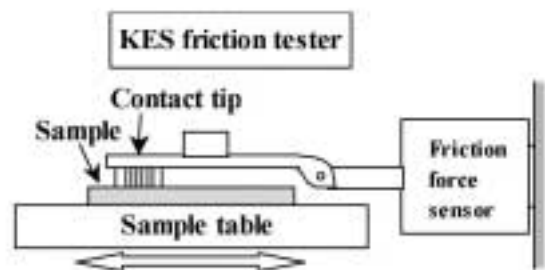


Fig.4 Explanation of Compression Factors



The table moves with a sample.

Fig.5 Method of Friction Factors

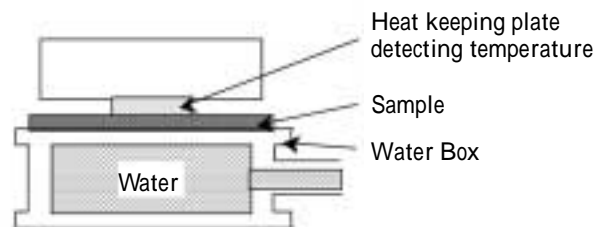


Fig.6 Method of Endothermal Factors

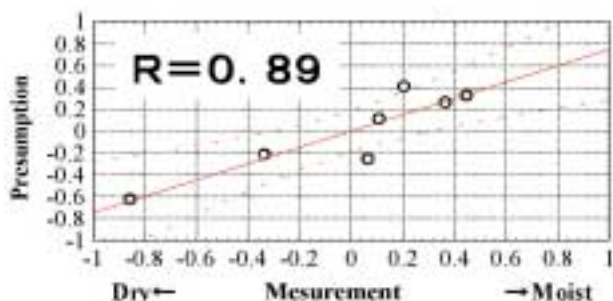


Fig.7 Adaptability of Regression Line (Dry-Moist)

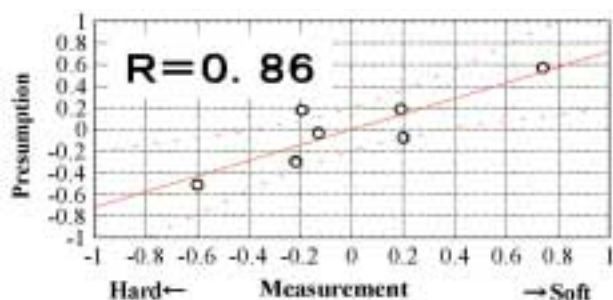


Fig.8 Adaptability of Regression Line (Hard-Soft)

5 . TPOの組成改良

5.1 TPOの目標「タッチ感」と目標物理特性

開発した評価法を用いて、「タッチ感」の数値化に用いた試料のうち主要な1~4を「硬軟感」評点と「乾湿感」評点を軸とするグラフに表した (Fig.9)。本グラフにより内装材料がどのような位置関係にあるか確認できる。「タッチ感」評価会の時に参考として行った嗜好調査の結果で高い評点であった試料1と試料4が「硬軟感」評点と「乾湿感」評点の比較的バランスがとれた位置であることがわかった。また、試料2は試料4とは対照的に「硬軟感」評点と「乾湿感」評点のバランスが悪く、偏った位置にあり、嗜好調査結果でも低い評点であった。

一方、別の実験で「タッチ感」の嗜好が高い天然皮革素材の「圧縮」物理量と「摩擦」物理量を測定し、回帰式(1)、(2)で位置を推定したところ、「硬軟感」評点が2点以上と非常に高いが、「乾湿感」評点は0.2点 ~ -0.4点の範囲であった。

よって、試料1の主要物理特性を参考に、さらにさらっとしてかつ軟らかい「タッチ感」としてFig.9中のハッチングした領域を目指し、目標物理量を設定した。

5.2 物理特性とTPO組成の関係

(1) 材料設計の考え方

TPOの主要成分は、PP等樹脂とEPDM等ゴム及び鉱物

性等オイルの3成分に分けられる。従来、「タッチ感」を材料組成で制御する手法としては、4.2節で述べた硬度を指標とした樹脂とゴムの配合比率の調製が主であった。この手法に基づき材料の試作検討を行った結果、Fig.9に示した破線上での制御は可能であるものの、目標領域が示す「硬軟感」評点と「乾湿感」評点のバランスを実現することは困難であった。本開発では、Fig.10に示すように同等のJIS硬度である試料1のPVCと試料4のTPOの極低荷重での「圧縮」特性が異なる点に着眼し、樹脂とゴムの配合比率だけでなく成分種も含めて検討した。

(2) TPOの改質

TPO組成改良を検討した結果、「圧縮」特性の改善には樹脂成分の改質が有効であり、4.5節にて特定した圧縮仕事量 (Fig.10の波形面積) の目標値を超え、試料1同等以上の値を得ることができた (Fig.11)。一方、「摩擦」特性の改善にはゴム成分の改質が有効であり、同じく4.5節にて特定した摩擦係数平均偏差の目標値を超えて一般的に「乾湿感」が優れているソフトフィール塗装同等の値を得ることができた (Fig.12)。

また本手法では、各成分種の改良を独立して行うことができるため、従来の配合比率のようなトレードオフの関係がなく、「硬軟感」評点と「乾湿感」評点のバランス制御の自由度を高くすることができるようになり、再度評価会を実施し、組成改良したTPOが狙いの「タッチ感」領域に位置することも確認できた (Fig.13)。

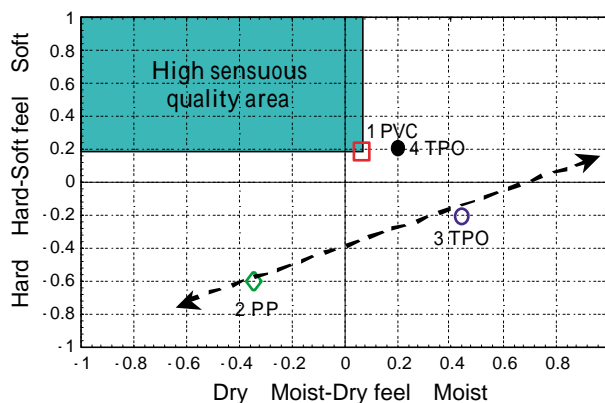


Fig.9 Relative Positioning of Touch Feel

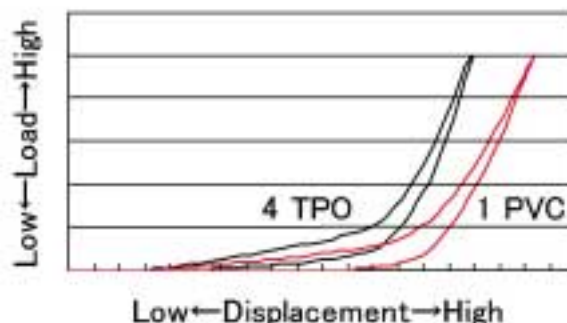


Fig.10 Compression Characteristics of PVC and TPO

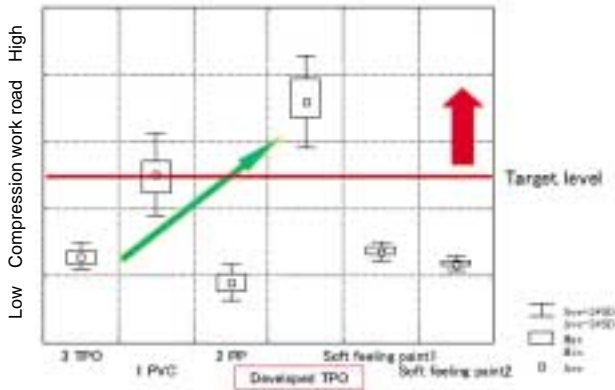


Fig.11 Effect of Modified PP Elements

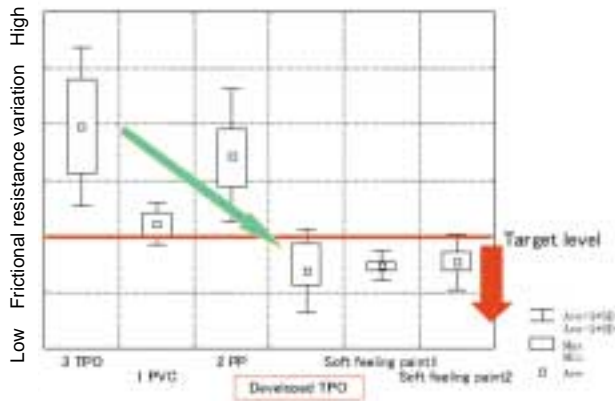


Fig.12 Effect of Modified Rubber Elements

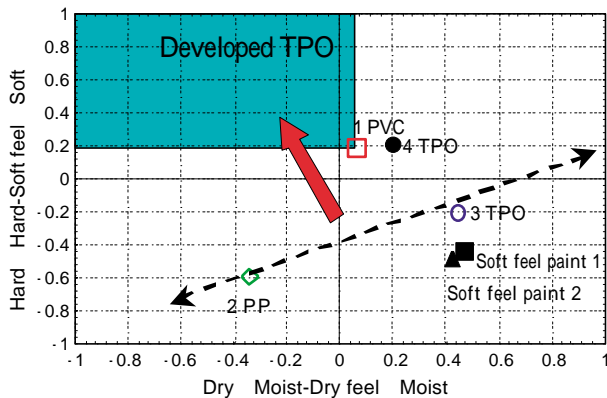


Fig.13 Relative Positioning of Developed TPO

6. まとめ

本開発により、以下の結果を得ることができた。

- (1) 樹脂材料の「タッチ感」は「乾湿感」と「硬軟感」で説明でき、数値化も可能となった。
- (2) (1)の主要な「タッチ感」指標である「乾湿感」と「硬軟感」は「摩擦」特性と「圧縮」特性によって定量的に示すことができる。
- (3) 「摩擦」特性と「圧縮」特性に基づいた組成成分の最適化により、「タッチ感」の優れたTPO材料が開発できた。

今後、開発材の適用範囲を拡大していくと同時に、「タッチ感」計測技術を応用し、ステアリングホイール等顧客が良く触れる部品の「タッチ感」向上に貢献していく所存である。最後に、本開発にあたり、多大なご協力をいただいた、三井化学株式会社殿をはじめ関係者の皆様方に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 河津健司ほか：「ソフトフィール塗装の触感定量化」, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.87-99, p.19-22 (1999)
- (2) 久保田毅ほか：「内装樹脂部品のソフト感解析」, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.975, p.209-212 (1997)
- (3) 日科技連官能検査委員会：「官能検査ハンドブック」, 東京, 日科技連出版社, P.349-393 (1979)

著者



田中 力



大西正明

論文・解説

37 HCによるディーゼル排出NO_x選択還元反応の速度モデルによる解析 Kinetic Modeling Analysis of Selective Reduction Reaction for NO_x in Diesel Exhaust by HC

原田 浩一郎*¹ 上岡 敏嗣*²
Koichiro Harada Toshitsugu Ueoka

要 約

ディーゼル排出ガスは、ガソリンエンジンに用いられている三元触媒が適用できず、NO_x排出量の低減が課題となっている。このための技術として、排出ガス中に含まれるHCを還元剤に用いNO_xを浄化する選択還元NO_x触媒が注目され、これまでに多くの報告がなされてきた⁽¹⁾。しかし、このNO_x触媒のNO_x浄化反応のメカニズムは、十分に明らかになっておらず、そのNO_x浄化率を排出ガス条件から予測計算しようとする試みはまだ少ない。本稿ではNO_x触媒として、耐久性に優れる白金（以下Pt）担持ゼオライト系触媒を取り上げ、その浄化反応の速度モデルを用いて、反応メカニズムについて検討を行った。「HCとNO_xの直接浄化反応」及び「HCが酸化する際に生成する反応中間体がNO_xを浄化する反応」の2つのモデルについて検討した結果、想定される模擬排出ガス条件において、後者のモデルを用いた方が、より精度良くHC及びNO_xの浄化率の温度特性を再現でき、HC反応中間体を考慮した反応が起こっていると推定した。また、実車両における浄化反応についても、この反応が起こっていると推定した。

Summary

The three-way catalysts employed in gasoline engines cannot be used in diesel exhaust gas atmosphere. This causes one of the various difficult problems in decreasing NO_x emissions. As one of technologies for addressing this problem, attention has been focused on selective reduction catalysts capable of converting NO_x by using HC contained in exhaust gas as a reducing agent. There have been several reports dealing with the catalysts. Nevertheless, a mechanism of NO_x conversion reaction of NO_x catalysts has not been clarified sufficiently. Additionally, the number of attempts to predict the NO_x conversion efficiency of the NO_x catalysts with exhaust gas condition is still small. On this paper, Pt-loaded zeolite, which is one of the NO_x catalysts, was taken up and the reaction mechanism of it was examined by the prediction model of conversion reaction of it. Two models, the model based on the direct reaction between HC and NO_x and the model based on the reaction, which permits HC reaction intermediate produced by HC oxidation to purify NO_x, were investigated. The conversion efficiencies of HC and NO_x for exhaust gas simulating the conditions in the vehicle were predicted with the later model more accurately than the former model. It is presumed that the reaction, in which HC reaction intermediate was involved, occurred on the condition. Additionally, it is also presumed that the reaction occurred in the conversion reaction on a prototype.

* 1, 2 技術研究所
Technical Research Center

1. はじめに

近年、地球温暖化防止の観点から、ディーゼルエンジン（以下DE）への期待が高まってきており、高出力・高効率のエンジンが、欧州を中心に開発されている。しかし、DE排出ガスは酸素過剰雰囲気下であるため、ガソリンエンジンに用いられている三元触媒が適用できず、NOx排出量をどう低減していくかが大きな課題の一つとなっている。

この課題を克服する技術の一つとして、排出ガスに含まれるHCを還元剤としてNOxを浄化する選択還元NOx触媒が注目されている。この背景には、近年コモンレール式DE用燃料噴射ポンプが実用化された結果、排出ガス中のHC濃度を制御することが可能になり、NOx浄化率を高めるために積極的に排出ガス中に燃料を添加するシステム（本稿では以下Active 4 wayシステムと称する）が成立すると考えられるようになったことがあげられる。

このNOx触媒のNOx浄化反応のメカニズムは十分に明らかになっておらず、そのNOx浄化率を排出ガス条件から予測しようとする試みは少ない。そこで本稿では、NOx触媒として、耐久性に優れるPt担持ゼオライト系触媒を取り上げ、その浄化反応モデルを用いて、反応メカニズムについて検討した。

2. 実験条件

2.1 触媒サンプルの調製

NOx触媒の中で、Pt担持ゼオライト系触媒は、NOx浄化率は高くないものの、HC、CO、NOx及びSOF（Soluble Organic Fraction）の全てに対して浄化可能である。また、熱や被毒に対する耐久性も高い。そこで、このPt担持ゼオライト系触媒の一つ、Pt担持MFIゼオライトを用いてモデル開発を行った。

触媒の調製方法について以下に述べる。Pt源としてジニトロジアミン白金硝酸溶液を用い、サポート材粉末と所定量混合した後、加熱により水溶液を蒸発させ、500℃、2時間大気中で処理することにより触媒粉末を得た。得られた触媒粉末に、水和アルミナバインダ及びイオン交換水を混合後、コーゼライトハニカム担体に担持し、焼成した。Table 1に作製した触媒サンプルの仕様をまとめて示す。

2.2 模擬排ガス浄化テスト

固定床模擬排出ガス流通装置により、触媒サンプルの各種条件下でのNOx浄化率を測定した。このときの排ガス条件は、Active 4 wayシステムにおいて想定される排ガス条件に準じた設定とした。Table 2にその詳細を示す。

2.3 実車EM浄化テスト

触媒サンプルの実車EM浄化テストを実施した。Table 3にその条件を示す。本テストに用いた実車は、エンジン制御により排出ガス中のHC濃度を高めることができ、瞬時

Table 1 Catalyst Sample Specifications

Pt Loading($\times 10^{-3}g/cm^3$)	0.4, 2.1, 2.8, 4.2, 5.6
Support Material	H ⁺ type MFI SiO ₂ /Al ₂ O ₃ = 80
Binder	Alumina Hydrate
Honeycomb Material	Cordierite
Cell Density(kcells/m ²)	620
Wall Thickness(mm)	0.15
Aging condition	
Temperature()	600
Time(h)	24
Atmosphere	O ₂ (20%)+ N ₂ (balance)

Table 2 Condition for Model Gas Test

Gas Composition	
NO(ppm)	50, 100, 200, 750
C ₃ H ₆ (ppmC)	300, 500, 1000
CO(ppm)	200
O ₂ (%)	10
CO ₂ (%)	4.5
H ₂ O(%)	10
N ₂	Balance
Catalyst Size	
(mm) \times Length(mm)	25 \times 50
Space Velocity(1/h)	8 \times 10 ⁴
Ramping(/min)	10

Table 3 Condition for Vehicle Emission Test

Engine Specification	
Engine Type	Direct Injection Diesel Turbo Inline 4 cylinder
Displacement(m ³ L)	2.0 \times 10 ⁻³ { 2.0 }
Injection System	Common-rail System
Inertia Weight Class(kg)	1750
Test Cycle	NEDC
Catalyst Location	Closed Coupled Position
Catalyst Size	143.8 \times 118
Diameter(mm) \times Length(mm)	

のHC/NO_x濃度比を約1~20の範囲で変化させることができる。

3. 浄化反応モデルの作成

3.1 反応スキームの設定

HCによるNO_xの選択還元浄化反応メカニズムとしては複数の説が存在しているが、まずHCがO₂と反応して中間体が生成し、この中間体がNO_x浄化に寄与するという「HC中間体仮説」が有力な説の一つである。このHC反応中間体を考慮したモデル及び、HC反応中間体を考慮しないHCとNO_xの直接浄化反応モデルの比較を行い、反応メカニズムについて検討した。モデル作成にあたっては、構成する反応スキームをできるだけ簡素化することにより、シンプルでありながらも計算/実測差の小さいモデルの実現を目指した。

Fig.1, 2にそれぞれ、HCとNO_xの直接浄化反応及びHC反応中間体を考慮した反応について設定した反応スキームを示す。

前者の素反応として、HCとNO_xが反応してNO_xが浄化されるReaction1 (以下反応1) 及びHCがO₂と反応して消滅するReaction2 (以下反応2) の2つを取り上げた。後者の素反応としては、HCがO₂と反応してHC反応中間体(HCO') が生成するReaction3 (以下反応3), HC反応中間体とNO_xが反応してNO_xが浄化されるReaction4 (以下

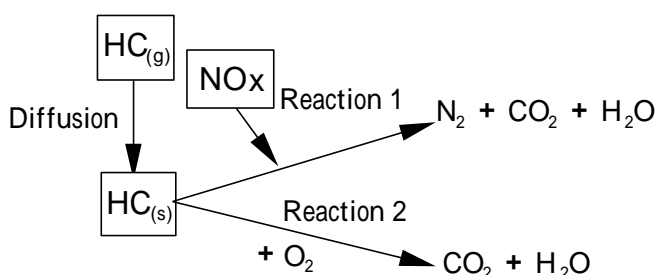


Fig.1 Prepared Scheme for Direct Reaction between HC and NO_x

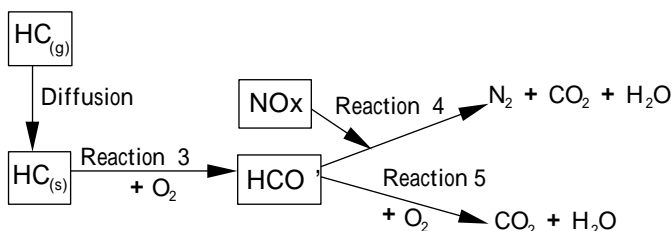


Fig.2 Prepared Scheme for Reaction with HC Reaction Intermediate Product

反応4) 及びHC反応中間体がO₂と反応して消滅するReaction5 (以下反応5) の3つを取り上げた。また、どちらの反応についても、HCについて流通ガスから触媒表面への拡散を取り上げ、拡散律速域での浄化率計算が可能な形とした。

3.2 反応速度式の作成

まず、想定した各素反応に対し、反応速度式(3-1式~3-5式)を設定した。全ての反応を一次反応と仮定し、反応はいずれも不可逆反応と考えられるため、逆反応は考慮していない。ここで、酸素濃度は約10%とHC, HCO'に比べて大幅に過剰であるため、定数とみなして扱った。

$$r_1 = k_1 \cdot [HC_{(s)}] \cdot [NO] \quad (3-1式)$$

$$r_2 = k_2 \cdot [HC_{(s)}] \cdot [O_2] \quad (3-2式)$$

$$r_3 = k_3 \cdot [HC_{(s)}] \cdot [O_2] \quad (3-3式)$$

$$r_4 = k_4 \cdot [HCO'] \cdot [NO] \quad (3-4式)$$

$$r_5 = k_5 \cdot [HCO'] \cdot [O_2] \quad (3-5式)$$

r₁ : 反応1の反応速度

k₁ : 反応1の速度定数

r₂ : 反応2の反応速度

k₂ : 反応2の速度定数

r₃ : 反応3の反応速度

k₃ : 反応3の速度定数

r₄ : 反応4の反応速度

k₄ : 反応4の速度定数

r₅ : 反応5の反応速度

k₅ : 反応5の速度定数

[HC_(s)] : 触媒表面のHC濃度

[HCO'] : HC反応中間体濃度

[NO] : NO濃度

[O₂] : 酸素濃度

続いて、各ガス種の濃度変化の方程式(3-6式~3-10式)を作成した。定常状態の近似の手法を用い、ガスが触媒内部を流通しながらその組成を変化させていく形式とした。また、HCの拡散速度と反応3の速度は一致している状態とした。なお、ガス流通方向の一次元でモデル化している。

$$-d[HC_{(g)}]/dx = k_d \cdot ([HC_{(g)}] - [HC_{(s)}]) = r_1 + r_2 \quad (3-6式)$$

$$-d[NO]/dx = r_1 \quad (3-7式)$$

$$-d[HC_{(g)}]/dx = k_d \cdot ([HC_{(g)}] - [HC_{(s)}]) = r_3 \quad (3-8式)$$

$$d[HCO']/dx = r_3 - r_4 - r_5 \quad (3-9式)$$

$$-d[NO]/dx = r_4 \quad (3-10式)$$

k_d : 拡散速度定数

x : 触媒内のガス流れ方向の位置座標

各反応の反応速度定数については、アーレニウスの式による温度特性式(3-11式~3-15式)を作成した。

$$k_1 = k_{10} \cdot \exp(-E_{a1} / RT) \quad (3-11式)$$

$$k_2 = k_{20} \cdot \exp(-E_{a2} / RT) \quad (3-12式)$$

$$k_3 = k_{30} \cdot \exp(-E_{a3} / RT) \quad (3-13式)$$

$$k_4 = k_{40} \cdot \exp(-E_{a4} / RT) \quad (3-14式)$$

$$k_5 = k_{50} \cdot \exp(-E_{a5} / RT) \quad (3-15式)$$

- k_{10} : 反応1の頻度因子
- E_{a1} : 反応1の活性化エネルギー
- k_{20} : 反応2の頻度因子
- E_{a2} : 反応2の活性化エネルギー
- k_{30} : 反応3の頻度因子
- E_{a3} : 反応3の活性化エネルギー
- k_{40} : 反応4の頻度因子
- E_{a4} : 反応4の活性化エネルギー
- k_{50} : 反応5の頻度因子
- E_{a5} : 反応5の活性化エネルギー

4. 反応モデルによる反応メカニズムの検討

HC及びNOxの浄化率特性について、作成したモデルを用いた計算結果と実測値を比較することにより、NOx浄化の反応メカニズムについて検討を行った。

4.1 NOx浄化反応モデルの比較

それぞれのNOx浄化反応モデルにより、HC及びNOxの浄化率の実測値を同時に再現できるか調べた。Pt担持量が $5.6 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ の触媒を用い、模擬排出ガステストにより、HC濃度1000ppm、NO濃度750ppmと固定したときのNOx浄化率を測定した。この測定データに対し、カーブフィッティング法により合せこみを行い、HCとNOxの直接浄化反応モデルについては5つ、HC反応中間体を考慮した反応モデルについては、7つの係数を設定した。これらの係数を用いたとき、Fig.3に示すように、HCとNOxの直接浄

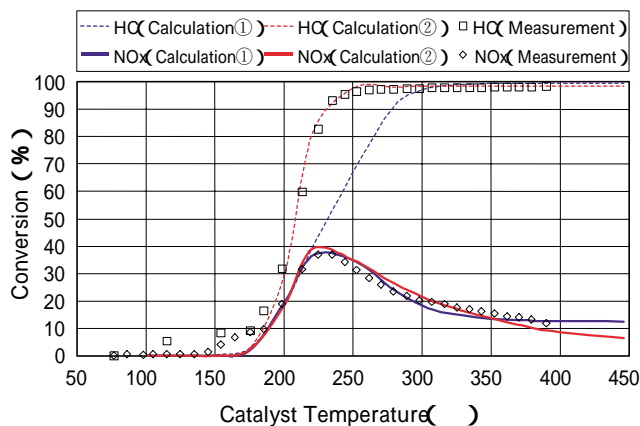


Fig.3 Comparison between Calculation by Two Models and Measurement

(Calculation① : calculated by the model with direct reaction of HC and NOx, Calculation② : calculated by the model with HC reaction intermediate product)

化反応モデルを用いた計算に比べ、HC反応中間体を考慮した反応モデルを用いた計算で、HC及びNOxの浄化率両方の傾向を同時に再現できることが分かった。

4.2 HC/NOx比が変化する場合のNOx浄化率

4.1において、HC及びNOxの浄化率をより再現できた、HC反応中間体を考慮したモデルを用いて、今度は、HC濃度が異なる場合のNOx浄化率特性が予測できるかどうかを検証した。Pt担持量が $4.2 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ の触媒を用い、模擬排出ガステストにより、NO濃度を100ppmに固定した上でHC濃度を300, 500, 1000ppmと変化させて100~400におけるNOx浄化率を測定した。このうちNOx 100ppm、HC 500ppmにおける測定データに対し、4.1の場合とPt担持量が異なるため、再度カーブフィッティング法により合せこみを行い、モデルの7つの係数を設定した。そしてこれらの係数を用いて予測できるかどうかを検証した。その結果をFig.4に示す。

HC濃度を上げることによりNOx浄化率は向上していき、HC反応中間体を考慮したモデルを用いた計算はこの傾向をよく予測できていることを確認した。

4.3 NO濃度が変化する場合のNOx浄化率

次に、Pt担持量が $4.2 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ の触媒を用い、今度はHC/NOx比を固定しNO濃度を50~200ppmと変化させて100~400におけるNOx浄化率を測定した。そして4.2で合せこんだモデルによりこの実測温度特性が予測できるかどうかを検証した。この結果をFig.5に示す。

触媒入口のNO濃度が上昇するに従い、実測NOx浄化率は向上する傾向を示し、HC反応中間体を考慮したモデルを用いた計算はこの傾向をよく予測できていることを確認した。

5. Pt担持量によるNOx浄化率変化に関する考察

Pt担持ゼオライト触媒のNOx浄化性能は、活性種であるPtの担持量により大きく変わることがわかっている。ここでは、Pt担持量の異なる複数の触媒の模擬排出ガステスト

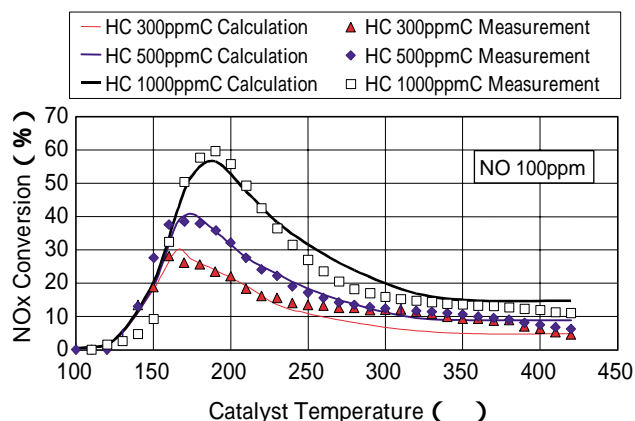


Fig.4 Comparison between Calculation and Measurement on Various HC/NOx Ratio

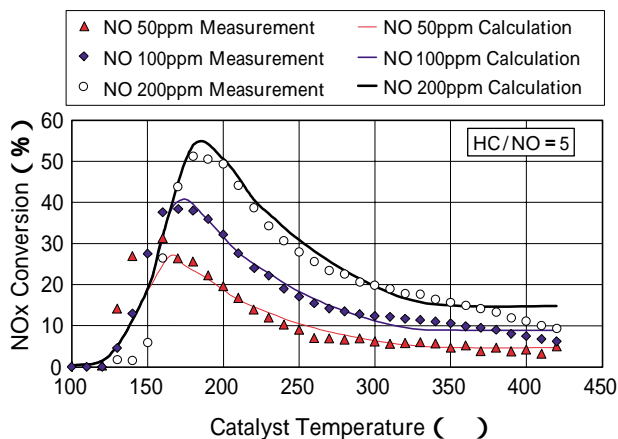


Fig.5 Comparison between Calculation and Measurement on Various NOx Concentration

結果について、HC反応中間体を考慮したモデルを用いて解析し、反応メカニズムから性能変化の原因を考察した結果について述べる。

Pt担持量が $0.4, 2.1, 2.8, 5.6 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ の4つの触媒を調製し、同一の条件にて模擬排出ガステストを実施し、HC及びNOx浄化率の温度特性を測定した。条件としてはHC 1000ppm, NO 750ppmを用いた。得られた4つの結果に対し、カーブフィッティング法を用いた合せこみを実施した。この際、HC拡散を支配する k_d 、活性種により決定される E_{a3}, E_{a4} 及び E_{a5} についてはPt担持量によらず同じであると考えられたため全データに対し同値を用いた。また、残る3つの頻度因子については、 k_{30}, k_{40}, k_{50} の順に合せこみを行った。この結果をFig.6~Fig.9に示す。

この結果、Pt担持量の異なる4つの触媒に対して、HC浄化率及びNOx浄化率の計算温度特性が実測とほぼ一致するときの頻度因子 k_{30}, k_{40} 及び k_{50} がそれぞれ得られた。これらと比較したところ、 k_{40} 及び k_{50} については各触媒間で差が見られず、 $k_{40} = 300, k_{50} = 0.000054$ となったのに対

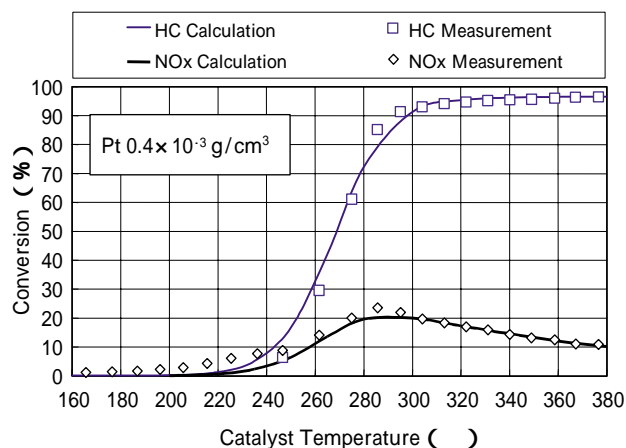


Fig.6 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Measurement ($\text{Pt } 0.4 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$)

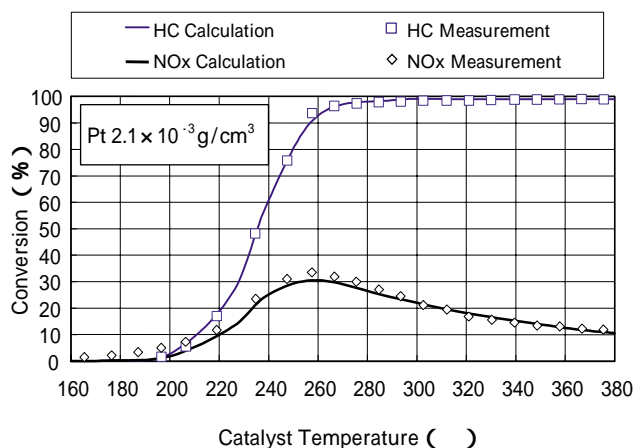


Fig.7 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Measurement ($\text{Pt } 2.1 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$)

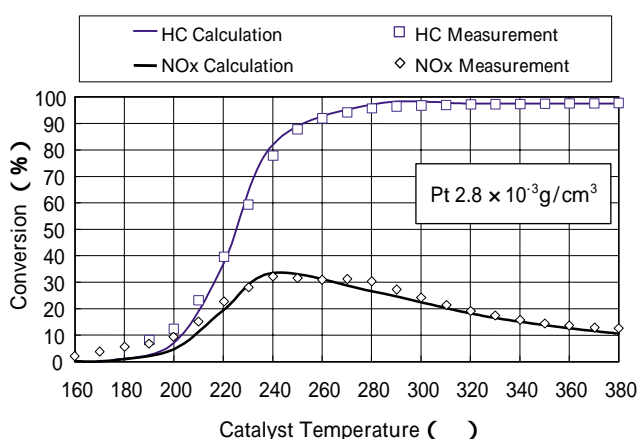


Fig.8 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Measurement ($\text{Pt } 2.8 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$)

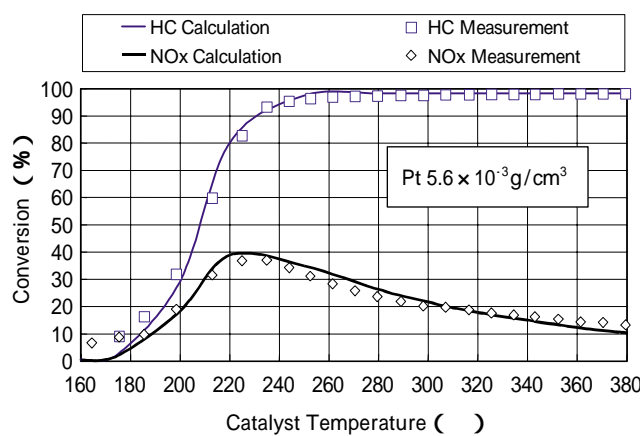


Fig.9 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Measurement ($\text{Pt } 5.6 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$)

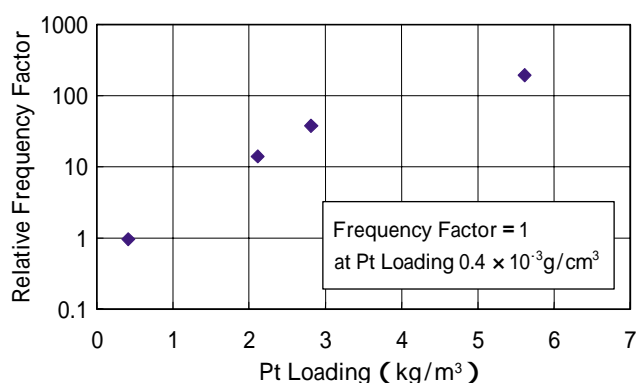


Fig.10 Estimated Frequency Factors by Model

し、 k_{30} ：反応3（HC反応中間体の生成反応）の頻度因子は、Fig.10にPt担持量との関係を示したように大きな差異が見られた。すなわち、Pt担持量を上げるに依り、指数関数的に k_{30} が大きくなった。

従って、本モデルによれば、Pt担持量を増やした場合のNOx浄化率の改善は、主として反応3に寄与する頻度因子が上がることで、すなわちHC反応中間体の生成が進むことが原因であると説明できる。

6. 実車EMにおける浄化反応メカニズムの検討

実車排出ガス条件におけるNOx浄化反応のメカニズムを、実車テストデータを取得し検討した。模擬排出ガステストではHCとしてプロピレン単独を用いたが、実車排出ガスにおいてはパラフィン、オレフィン、アロマ等の多くのHC種からなる混合組成である。このため、特に反応3をはじめ各係数が2つのモデルとも異なることが考えられる。そこで合せこみを実車浄化率データに対して改めて行うことにした。

Fig.11に、テスト車両がEUモードで走行したときの排出ガス諸条件の動きを示す。このモード中から定常走行に近い領域におけるHC及びNOxの浄化率瞬時値を抽出し、反応モデルをフィッティングしていくことにより実車浄化率の予測計算を試みた。

フィッティング後の反応モデルによる計算と実測の比較結果をFig.12～Fig.14により示す。Gas Flow Rate、HC/NOx及びRaw NOxによりNOx浄化率の計算温度曲線は変化していく。HCとNOxの直接浄化反応モデルを用いた計算結果に比べ、HC反応中間体を考慮した反応モデルを用いた計算結果では、実測NOx浄化率値がほぼ全ての計算曲線近傍に位置していることがわかる。またHC浄化率についても実測値はその計算曲線付近に分布している。

以上より、HC反応中間体を考慮した反応メカニズムが実車においても起こっていると推定する。

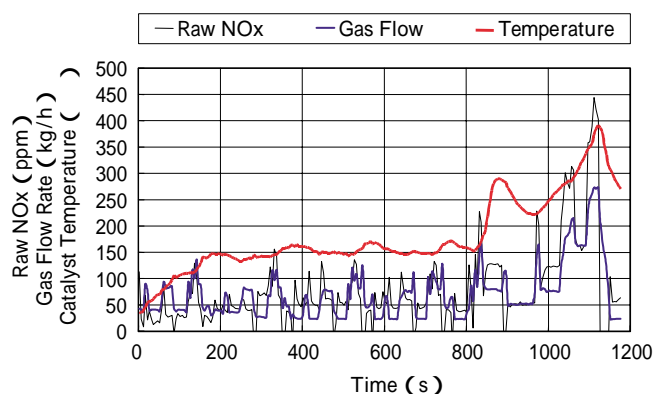


Fig.11 Exhaust Conditions at Vehicle Test
【Test cycle : ECE(R15)+EUDC】

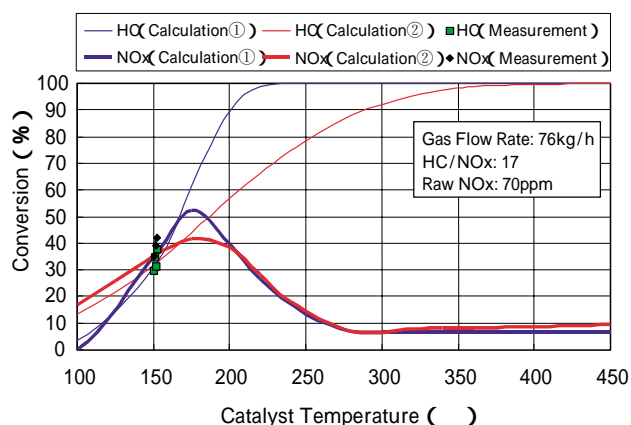


Fig.12 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Vehicle Test Measurement (1)

(Calculation①：calculated by the model with direct reaction of HC and NOx, Calculation②：calculated by the model with HC reaction intermediate product)

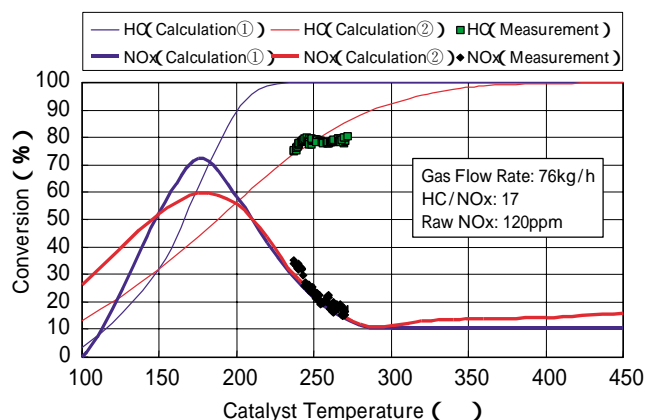


Fig.13 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Vehicle Test Measurement (2)

(Calculation①：calculated by the model with direct reaction of HC and NOx, Calculation②：calculated by the model with HC reaction intermediate product)

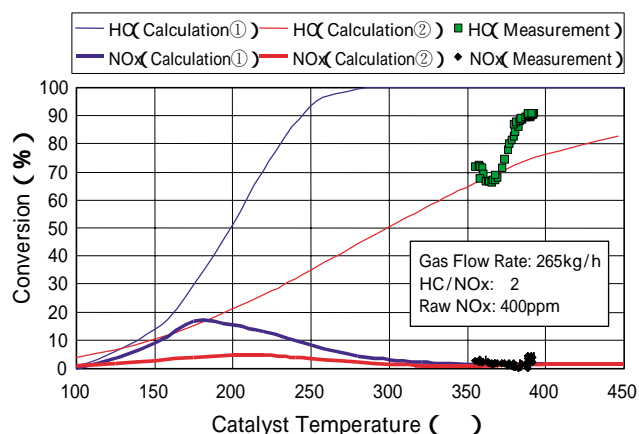


Fig.14 Calculated HC, NOx Conversion Compared with Vehicle Test Measurement (3)

(Calculation①: calculated by the model with direct reaction of HC and NOx, Calculation②: calculated by the model with HC reaction intermediate product)

7. まとめ

Pt担持ゼオライト系NOx触媒の浄化反応速度モデルを作成し、これを用いてNOx浄化メカニズムの検討を行った。

- ① HC及びNOxの直接反応モデル及び、HC反応中間体を考慮したモデルを作成した。Active 4 wayシステムで想定される模擬排出ガス条件において、それぞれのモデルにより実測値を再現できるか検証を行った。HCとNOxの直接反応モデルに比べ、HC反応中間体を考慮したモデルを用いた場合、よりHC及びNOx浄化率両方の傾向を再現できた。更に、HC濃度が変化する場合及びNO濃度が変化する場合においても浄化率を再現でき、HC反応中間体による反応が起こっていると推定した。
- ② Pt担持量を増やした場合のNOx浄化率改善効果を、反応モデルを用いて考察した結果、HCから反応中間体が生成する素反応の頻度因子向上が主因であると推定した。
- ③ HC反応中間体を考慮した反応モデルは、HCとNOxの直接反応モデルよりもActive 4 wayシステムプロトタイプ車両における瞬時触媒NOx浄化率を精度良く予測することができ、この反応が実車でも起こっていると推定した。

参考文献

- (1) 多田 他：環境触媒ハンドブック，東京，(株)エヌ・ディー・エス，p.359-366 (2001)
- (2) 藤井 他：炭化水素によるNO選択接触還元反応：各種金属添加アルミナ触媒の活性に対するアルミナの影響，触媒，43，6，411 (2001)
- (3) 菊池 他：炭化水素によるNO選択還元触媒 - CH4-SCRとゼオライト触媒を中心に - ，第86回触媒討論会A，257 (2000)

著者



原田浩一郎



上岡敏嗣

論文・解説

38

モジュール部品搭載装置の開発 Development of Module Installation Equipment

木村 訓司*¹ 沖中 幸浩*²
Kunji Kimura Yukihiro Okinaka

要約

マツダ本社工場の車両組立ラインは自動化が困難な環境にあり、作業の多くは人手に頼る労働集約型の生産ラインである。近年欧米を中心に、機能統合/アウトソーシングによるコスト削減、商品性向上を狙いとしたモジュール部品が採用され、日本においても各社で採用され拡大基調である。マツダではアテンザ、新型デミオからモジュール部品の本格的な採用を実施した。車両組立領域ではモジュール化により工程のシンプル化・不具合のゼロロスタ化などの多大な効果を期待している。一方でモジュール化(大型化,重量増)によるエルゴノミクス対策・部品間の折合精度への取り組みが必要になった。

従来、車両組立領域ではタイヤなどの重量物はラクラクハンドに代表される安価な重量補助装置を用いてエルゴノミクス対策を進めてきたが、モジュール部品の取付工程開発においてはこの活動を一歩進めて重量補助のみならず、部品取付位置の精度保証を合わせたモジュール搭載装置を実現した。本稿では、宇品工場/本社工場に量産導入したフロントエンドモジュール(以下FEM)、インストルメントパネルモジュール(以下IPM)の搭載装置を開発・導入した取り組みを紹介する。

Summary

Final assembly line is what is called a "labor-intensive line" which almost work on human operation because of difficult automation. Currently in Europe and America, many automakers have adopted module parts in vehicles for cost reductions and product marketability improvement. In Japan, module parts are on the increase. Mazda has introduced modular parts into vehicles such as Atenza and New Demio. In a final assembly area, we expect significant effects of simple work-process by modularization. On the other hand, it is necessary to establish assembly process ergonomics for module parts (large and heavy).

Until now we have been taking measures for Ergo by low-price weight reduction equipment typified by Raku-Raku Hand. But development of installation equipment for New Demio Modules, we have attained not only Ergo but also high accuracy of module installation positions. This paper introduces our activities.

1. はじめに

アテンザ、新型デミオを皮切りにFEM, IPMに代表されるモジュール部品の採用が本格化して、今後の新車へ拡大基調にある。車両組立領域では、このモジュール化を機に工程のシンプル化、品質に起因する不具合等のゼロロスタ化を図り多大な成果を予測している。その反面、組付部品

の大型化による作業環境の悪化及び完成車での折合精度起因による品質不良等の懸念事項もあった。

マツダでは、防府工場ではモジュール化に対応したシンプルベースライン生産方式を構築し、モジュール部品の搭載作業については自動化を基軸に展開して技術の蓄積を図ってきた。一方本社/宇品工場では、工場の立地条件/作業条件等の環境面からタイヤ取付に代表される重量物搭載作

* 1, 2 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

Table 1 Heavy Load Work of Vehicle Assembly Shop

No	Item	Ujina	Hofu
1	Sliding Roof Install		
2	Tire Install		
3	Spare Tire Install		
4	Front Sheet Install		
5	Rear Sheet Install		
6	Instrument Panel Install		
7	Battery Install		
8	Glass Install		
9	Gasoline Tank Install		

業は、重量補助装置を導入して作業負荷軽減を図っている (Table 1)。

モジュール部品の搭載作業に求められるのは、重筋作業からの解放に加え完成車状態での折合精度・機能精度を保証するための組付作業精度である。今回、この要求に対応した半自動搭載装置を本社/宇品工場へ導入した。

2. 重量物搭載の現状

各自動車メーカーとも、エルゴノミクス対策として重量物搭載の設備対応を図っているが、その方法は以下の3つに大別できる。

① ロボット等を使用した自動取付装置

自動化は、その特徴である組付作業の精度保証や作業工数の削減面で優れている。反面、工程の柔軟性や設備投資の採算性などのデメリットもある。特に、人間主体の車両組立領域では、有効工程数の増加が致命的な欠陥となる場合があり、モジュール化と自動化との工程バランスを熟慮する必要がある。

② 人がエルゴアームを操作する重量補助装置

設備投資・工程の柔軟性の面で優れている。反面、使い勝手(自由度、慣性力)の面で人の熟練度に依存したところがあり、作業工数はむしろ増加する傾向になる。

③ 取付作業の一部を自動化した半自動化装置

①②の折衷型であるが、装置が専用化するうえ、人と装置が共存するため安全対策面での投資がかさむ傾向にある。課題は、人がいかにイニシアティブをとって、装置を使いこなせるかであり、作業習熟に期間が必要である。ただし、採算面・作業精度面での効果は非常に高い。3つの方法ともメリット/デメリットが交錯し (Table 2)、各社とも、車両側の条件、投資環境、コンベア形態(自動

取付の基本は一旦停止コンベア)により選択している状況である。

3. モジュール搭載の課題

本社/宇品工場のコンベア形態は、チェーン駆動の連続搬送コンベアであるため自動化が困難であり、大物部品は主として重量補助装置を多用している。しかし、モジュール部品の取付作業に必要な位置決め精度を確保するには、人への依存度を軽減する必要がある。

今回、導入したFEM & IPMでの要件は、

a 部品重量30~47kgの作業負荷の軽減

b 部品搭載スキ10.0mmの確保

c 部品の組付精度 ± 1.0 mmの確保

などがあり、これを満足する技術的な課題は、

a - (1) モジュール部品の仕様差による部品種類間の重量差を吸収する機能

b - (2) コンベア上のボデー位置検出

b - (3) 連続搬送車両への装置の同期追従

b - (4) 作業者の装置操作性の向上

c - (5) 連続搬送時の振動するボデーへモジュール部品を密着させる構造である。

4. モジュール搭載装置の開発活動

4.1 モジュール搭載装置の開発方針

モジュール搭載装置は、車両側からの要件に加え、生産側の要求である工程の柔軟性及び採算性の確保を基本に、現状のコンベア形態で作業精度の保証と作業工数削減を図り自動化要素を加味した半自動化装置の導入を決定した。

今までの半自動化装置の問題点は、装置の専用化/安全対策による投資増大である。今後のモジュール部品の拡大展開(国内外も含めた)を前提に、装置の汎用性と作業者の安全性の確保及び設備・装置の標準化を目的に装置の設計を内製化する取り組みとした。

4.2 技術課題解決の活動

(1) モジュール部品種類間の重量差を吸収する機能

車両組立工場は、多車種混流生産が前提であり取り扱う部品は車種間、同一車種内の仕様差で大きく変化する。今回、導入したIPMは、モジュール自体の重量差は17kgあり、これが搭載装置及び人間作業に与える影響が大きいため、ワーク重量に合わせたアシスト力を得る機構を採用した。

具体的には、走行レール上の旋回アーム部にロードセルを取付後、IPMを持ち上げた時に、その重量を計測してアームのバランス圧力にフィードバックする方法を用いた (Fig.1)。その結果、部品重量に影響を受けず3~4kgの安定した操作力で作業を行うことができた。

(2) コンベア上のボデー位置検出

車両組立工場のコンベアは、部品組付作業の方向や組付

Table 2 Method Compare

	Quality	Reduct Workingtime	Cost	Flexibility
Auto				
Weight Assist				
Semi-Auto				

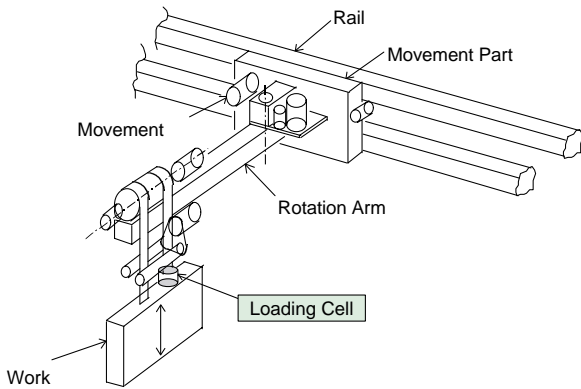


Fig.1 Mechanism Outline of Measuring Weight

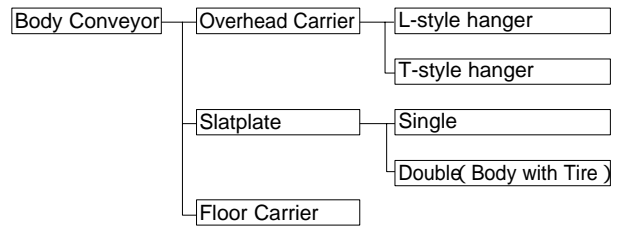


Fig.2 Conveyor Style at Vehicle Assembly Shop

過程での部品の有無により様々な搬送方式を採用している (Fig.2)

コンベアとボデーの位置関係は、ハンガーの製作バラツキ、ハンガー上のボデー位置バラツキ、スラットコンベア上の着地位置のバラツキ、部品の組付作業中でのボデー位置ズレなどの影響で、100.0mmのレンジでバラツキを発生させている。この環境の中で、搭載スキ10.0mmに対応するには、ボデーの位置検出は絶対不可欠である。このボデー位置検出では、傷・打痕などの品質問題を回避するため、非接触の視覚センサを用いた画像処理によりボデーの位置検出を確実なものにした。

具体的には、FEM搭載で目的位置へ運ぶ途中の定ポイントにて、ボデー側のFEMの締結穴を視覚カメラで検出して、前後/左右方向のボデー位置を計測して搭載装置の位置補正を行った。これにより、装置自体の自走できる環境が整い自動走行機能の織り込みが可能となった。

(3) 連続搬送車両への装置の同期追従

連続搬送されるボデーに対するモジュール部品の搭載軌跡を確保するには、コンベア速度への追従(コンベア同期)が必要になる。本活動では、同期追従位置の精度を搭載スキの半分である±5mmの狙いで開発を行った。モジュール搭載ではハンガー(又はボデー)と装置を機械的に係合することでコンベア同期を図った。具体的には、FEMでハンガークランプ部と搭載アームを同一ベース上に配備し、ハンガークランプ部は、ボデー進行方向にフローティングできる構造を採り、ハンガーとボデーの位置関係を補正した後ロックする機能を付加した (Fig.3)

しかしダブルスラットコンベア上のボデーは、タイヤがニュートラル状態であるためボデーが各ステーションで部品組付中に移動しIPM搭載では前述方式の採用はできなかったため、同期バーをボデーに押し当て、同期バーの動きに同期走行部が追従する機構を採用した (Fig.4,5)。この方式は、従来、位置精度の面からサーボモータを使用したフィードバック制御を採用していたものを、投資削減/設

備の簡素化の観点からインバータモータを使用した速度制御にした。また、位置精度の観点では、速度検出部のフローティング位置をエンコーダで検出して、遅れ/進みに対して速度を増減する制御を採用した (Fig.6)

(4) 作業者の装置操作性の向上

人間が操作する装置は、軽い力で作業者の思い通りに装置が追従して動くことが理想である。しかしその達成には、



Fig.3 Hanger Clamp for FEM Install



Fig.4 Conveyor Following at IPM Install

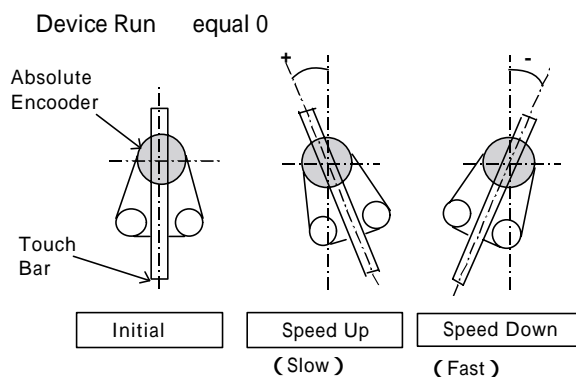


Fig.5 Outline

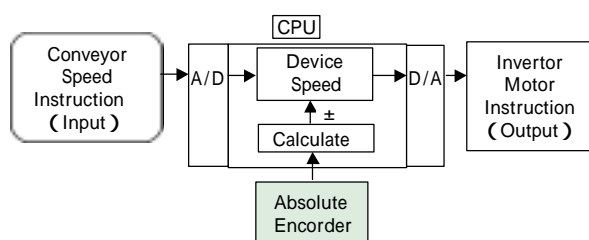


Fig.6 Control Block Chart of Following Conveyor Speed

技術的にサーボ機構採用が必要であり、安全対策により人や部品の出入りが規制され、組立ラインの有効作業工程数の減少につながるため実現が難しい。更に操作する作業者の身体能力差により使いやすさの評価が変わる。そこで、装置側動作（操作）の自由度を必要最小限に規制し、操作の単純化と重量アンバランスの最小化を行うことで、操作性の向上を図る取り組みを行った。

(5) 振動を繰り返すポデーへモジュールを密着させる構造
 車両組立工場のポデー搬送は、チェーン駆動であり絶えず振動を繰り返している。ポデーにモジュールを正確に搭載するには、モジュールとポデーの位置決めから締結する間、位置決め状態を保持する機能が不可欠である。保持に対して重要なファクターは重力であり、取付方向別（垂直・水平）に検討を行った。

① 垂直方向の取付

組付治具とモジュール部品の重量を利用して、位置決め状態を保持する機構を確立した。具体的には、組付治具とモジュールの重心位置を中心付近に設定し、ポデーへ位置決めを完了した後に、組付治具とモジュールを搭載アームより機械的に切り離すことで、組付治具&モジュールをポデーの一部としてコンベアで搬送させ、ポデーとモジュールの相対位置を確保した（Fig.8）

② 水平方向の取付

IPM搭載の前後／左右方向の取付は、ポデーの進行方向とモジュールの取付方向が同一であるため、ポデーとモジュールの相対位置を保証できる構造とした。具体的には、確立したポデーに対する装置の同期追従の精度を

ベースに追従精度をカバーする位置決めピンを装置側に設定した。モジュール締結時は、そのピンにて左右（BL）方向、上下（WL）方向の位置の保証を行い、進行（TL）方向に関しては、部品の締結方向と同一方向にしてモジュールの取付位置の精度を保証した（Fig.9）

また、作業者の安全を確保する機能を加えた。搭載装置の導入で発生する危険ポイントは、衝撃と挟まれ／巻き込みである。安全の考え方は、本質的な危険ポイントを排除することで、衝突に対しては、動作速度を300mm/秒以下にする。挟まれ／巻き込みについては、挟まれた場合でも装置側のアームが開放側に動くように設定した。また、装置で使用するシリンダー等の駆動機

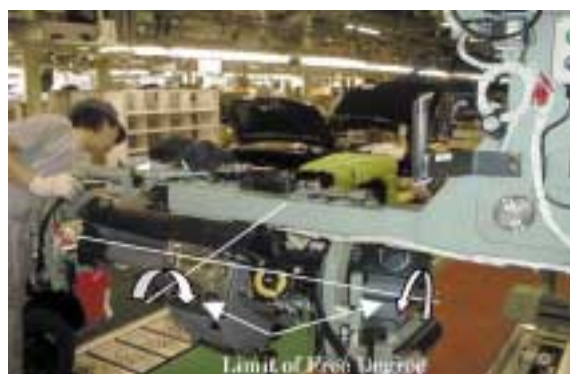


Fig.7 Limit of Free Degree at IPM Install Arm

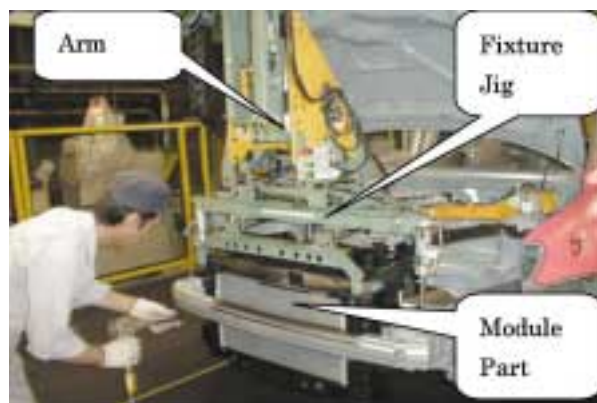


Fig.8 Example of FEM



Fig.9 Example of IPM

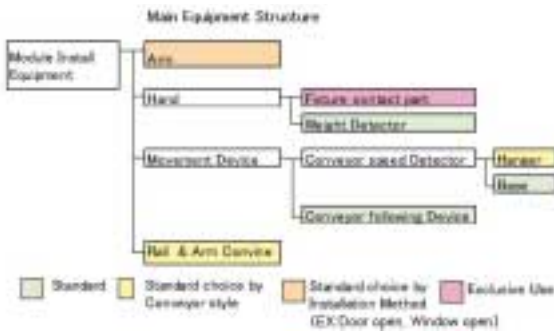


Fig.10 Indicate Standard / Exclusive

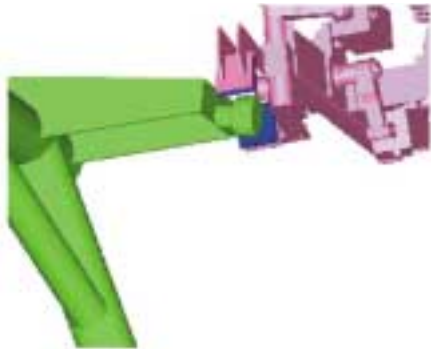


Fig.11 Example Standard Structure (Hanger Clamp)

器の動作端検知を利用して、通常動作以外の動作端外れを挟まれ / 巻き込みと判断して装置、搬送コンベアを停止させる機能を制御上に持たせ、特別な安全装置（安全柵、安全バリア）を付加しないよう取り組んだ。

4.3 モジュール搭載装置の標準化推進

(1) 装置標準化

モジュール搭載装置を構成部位に層別して、モジュール部品、コンベア形態の切り口で、汎用 / 専用 / 選択式汎用とする部位を決めた (Fig.10)。汎用部位は装置の標準構造を確立した (Fig.11)。

(2) 開発支援ツールの活用

作業者にとって、設備・装置の使い勝手の良さを明確化し設備・装置のスペックへ定量化してゆく必要がある。そのスペックを定量化していく一歩として、DPA (デジタル・プリ・アッセンブリー) での作業性評価を行い、使用部門との調整を図った上で装置を導入した。

具体的には、評価・検証項目は、作業姿勢 (Fig.12) / 視認性 (Fig.13) の検証を実施した。

今回新型デミオのモジュール搭載装置で「使い勝手」の定量化を一部行ったが、今後の設備導入に反映するための標準化活動を推進する。

5 . おわりに

今回導入したモジュール搭載装置により、作業者のスキルに依存しない作業が可能となり、新型デミオの量産後、IPM & FEMとも折合不良“0”である。作業環境面では、作業者の操作力が4.0kg以下を確保でき、社内のエルゴノミクス評価基準で“良好”な作業環境となった。また付随効果としてFEM搭載では、締結作業をのぞき全ての作業を自動化し、作業工数を0.53分/台削減することができた。

今後は、今回のDPA評価並びに、現場でのモジュール搭載装置の「使い勝手」評価をベースに、評価項目の洗い出しと項目の定量化を行うことで、モジュール搭載装置導入時の評価体系を確立する。そして今後の装置導入にて評価体系をスパイラルアップしていくことで、車・人・設備が一体で評価できるシステムの構築に結び付けていく。

著者



木村訓司



沖中幸浩



Fig.12 Evaluation of Work Posture at IPM Install



Fig.13 Evaluation of Visibility at IPM Install

論文・解説

39

プレス品の形状凍結技術の開発 Development of Shape-fixing Technology for Stamping Parts

小川 貴久*¹ 中田 匡浩*²
Takahisa Ogawa Masahiro Nakata

要約

近年、自動車の衝突安全性向上や軽量化のため、プレス部品への高張力鋼板（ハイテン）の適用ニーズが高まっている。しかし、プレス成形においては鋼板強度が増すにつれて成形過程での板厚方向の応力分布が不均一になりやすいため、成形品の側壁のそり度合（壁そり）が増加するなどにより、形状凍結性を確保することが困難になるという点がハイテン適用上の大きな問題の一つになっている。本開発では従来にない絞り成形型へのカムスライド機構の導入を考案し、壁そりの発生を大幅に抑制できる形状凍結技術を確立した。またこれまで深絞り成形部品には適用されていなかった590MPa級や780MPa級ハイテンに対しても、本技術の効果が大きいことを確認した。そして本技術はトリビュートのフロントフレームB（フロントフロア下のフレーム）などに適用され、壁そり対策のための金型修正が不要になり金型準備期間の短縮に貢献した。またフロントフレームBでは、社内加工部品で初めて590MPa級のハイテンを適用可能にして部品の板厚を1.4mmに抑えることができ、軽量化にも貢献している。

Summary

In applying high strength steel sheet (HSS) to automotive inner body parts, difficulty occurred in assurance of shape-accuracy, especially side-wall warps, in press forming, because uneven residual stress is apt to become uneven in thickness with an increase in tensile strength. A new press forming method was developed for ensuring shape-accuracy of draw parts with HSS of very high tensile strength such as 780MPa. In the new method, step drawing method was combined with crash forming method by applying cam flange die structure to drawing dies. This method was applied to the "Frame-B, Front" of Tribute etc., which has led to shortening of a stamping-die preparation period. Moreover, with the "Frame-B, Front", application of a 590MPa class HSS was capable of being made for the first time with in-house processing parts, and the thickness of parts was capable of being held down to 1.4mm (it contributes to weight reduction)

1. はじめに

近年、自動車の衝突安全性向上や軽量化のため、プレス部品への高張力鋼板（ハイテン）の適用ニーズが高まっている。ハイテン適用におけるプレス成形上の問題は、板材が硬いため破断やしわが発生しやすくなる（成形性不良）こと、成形によって発生した応力の弾性回復量が大きいために金型から離すと過大な変形が生じ、所望の形状を得ることが難しい（形状凍結不良）ことなどが挙げられる。

この形状凍結不良は、軟鋼板（強度レベル：260～310MPa）においても部品形状によって少なからず発生していた問題であるが、自動車各社の今後のハイテン化動向（車体骨格部品への適用強度レベル例；現状の400～440MPaから590MPa以上を検討）からも、解決が急がれている技術課題である。

* 1 車体技術部
Body Engineering Dept.

* 2 住友金属工業株式会社
Sumitomo Metal Industries, Ltd.



Fig.1 Side-wall Warp of Stamping Parts⁽¹⁾

2. 開発技術の経緯とねらい

プレス部品の形状凍結不良の中でも、Fig.1に示すとおり 絞り縦壁部に発生する壁そりは特に大きな問題である。その理由は、壁そり量を見込んで金型を製作するためには何回も試作プレスを繰り返す必要があり、また壁そり量が大きい場合には幾何学的に見込むことが難しいからである。

壁そりは、Fig.2, 3に示すとおりプレス成形の過程で受ける曲げ/曲げ戻し変形 (= 曲げ変形後直線形状に戻される変形) によって板厚方向の応力分布に異符号が生じるために発生する残留曲げモーメントに起因する⁽³⁾。

Table 1に示すように、壁そりを抑制し形状凍結性を向上させる技術として、縦壁部に発生する曲げ/曲げ戻し変形による加工硬化 (応力分布の大きさ) を抑制して形状凍結性を向上させるフォーム成形法や、成形の最後に材料に高い張力を与えて材料内部の応力分布を均一化し形状凍結性を向上させるしわ押さえ力制御成形法が知られている。

しかし、フォーム成形法では材料をほとんど拘束せずに成形するために、曲率を有する部品では成形中にしわが発生しやすく部品の幾何形状に制約が生じる。また、しわ押さえ力制御成形法ではプレス機に対する多額の設備費を必要とする、あるいは張力の増加により材料が破断するなど

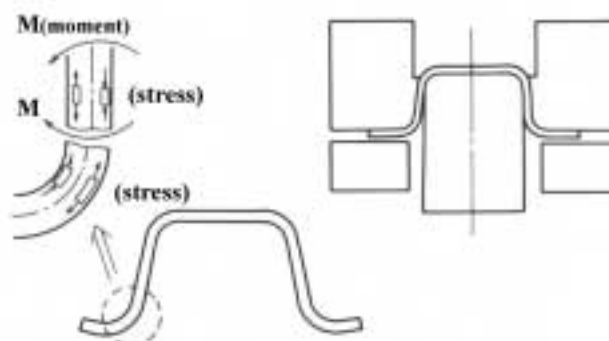


Fig.2 Mechanism of Side-wall Warp⁽²⁾

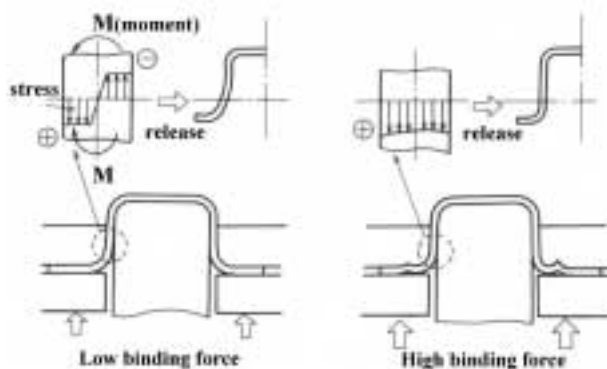


Fig.3 Effect of Binding Force on Side-wall Warp⁽²⁾

の問題があった。これらの方法では今後適用が加速すると思われる引張強度が590MPa以上のハイテン材のプレス成形において十分な形状凍結性を確保することは難しい。

そこで、本開発では従来の成形型にないカム機構を応用した2方向動作の金型構造により、上記フォーム成形法としわ押さえ力制御成形法の成形上の利点 (特徴) を組み合わせることに取組んだ。

Table 1 Comparison of Shape-fixing Effect in Conventional Method⁽¹⁾

Method	Crash Forming	Variable Blank Holder Force (BHF)
Illustration		
Mechanism	Plastic strain in side-wall is small, because only a little bending moment works on the part.	The stress distribution in side-wall is equalized, because enough tensile force is given to the part by high BHF at the latter stage.
Advantage	Die structure is simple.	Applicable even to complicated-shaped parts.
Dis-Advantage	Difficult to be applied to curved parts. (There is a difficulty in wrinkle control)	Additional investment to equipment is required.

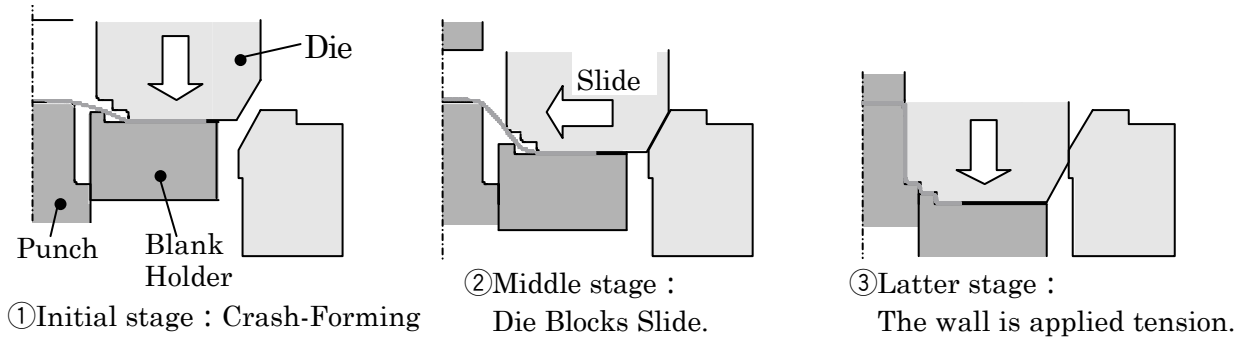


Fig.4 Forming Procedure of Developed Method⁽⁴⁾

3. 開発技術の内容と効果

本技術の特徴は、ステップビードを有する可動式ダイスとその動作にある (Fig.4)。従来の成形型ではダイスとパンチのクリアランス (距離) は材料の板厚程度とし、それを成形中に変動させることはなかった。

しかし、本技術では、成形初期には可動式ダイスをパンチから若干離れた位置としておく (Fig.4 - ①)。これにより、材料が金型内に引きずり込まれる際の曲げ曲率半径が大きくなるため、曲げ/曲げ戻し変形による加工硬化を抑制できる。このときの変形はフォーム成形に近いが、材料の端部はしわ押さえとダイスで拘束されているために、曲率を有する部品においてもフォーム成形のように大きなしわが発生することはない。

次に、成形中期のある時期にカム機構により可動式ダイスをパンチへとスライドさせる (Fig.4 - ②)。最後に、成形終期に可動式ダイスがパンチに寄り切ると可動式ダイス

に設けられたステップビードが作用し、成形品の縦壁部には高い張力が付与される (Fig.4 - ③)。この張力により、板厚内部の応力分布が均一化される方向に向かう。このとき、成形初期に材料の加工硬化を抑制しておいたことにより、同じ成形後期に張力を付与するしわ押さえ力制御成形法と比較して更に張力の効果が高まり (一方で材料の破断に対する危険度も低下し)、より良好な形状凍結性を得ることが期待できる。

本開発においては、本機構を有するモデル金型を製作して実際の効果を確認する過程において、鋼板強度の影響 (供試材をTable 2に示す)、ステップビードの形状や可動式ダイスの作動タイミングなどが形状凍結性に与える影響を確認し、適切な成形条件の検討も行った。成形条件例をTable 3に示す。モデル金型はFig.1のようなフレーム部品を模したものとした⁽⁴⁾が、金型を2種類準備 (Double steps, Single step) するとともにFig.5のとおり左右で断面の基本形状を変え、ステップビードの形状が形状凍結性に与える影響の優位差を確認できるようにした。なお、Single stepにおいては通常絞り成形 (Drawing) も行い、開発技術との比較も行った。Fig.6に壁そり; cの測定部位を示す。

Table 2 Mechanical Properties (thickness:1.6mm)⁽⁴⁾

Material		YP	TS	El	n	r
Grade	Type	(MPa)	(MPa)	(%)	-value	-value
270	Interstitial Free	157	282	55.2	0.275	2.25
440	Micro Alloyed	370	450	36.7	0.180	1.25
590	Dual Phase	413	609	31.7	0.173	1.04
780	Dual Phase	439	786	26.7	0.175	1.05

Table 3 Forming Conditions⁽⁴⁾

Case	Die Profile	Die Motion	Lubricant
Developed(Double steps)	Two steps	Developed	Rust preventive oil
Developed(Single step)	One step	Developed	Rust preventive oil
Drawing	One step	Step bead drawing	Nihon Kohsaku No.640

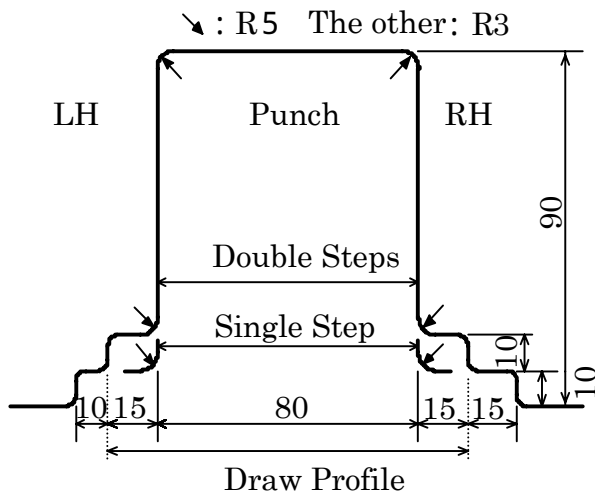
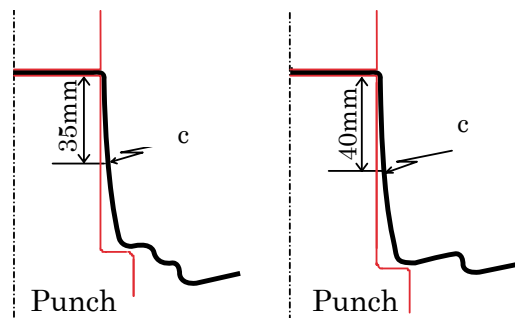


Fig.5 Dimensions of Die Profiles⁽⁴⁾



(a) Developed (b) Developed(Single step), (Double Steps) Drawing

Fig.6 Measuring Methods of c⁽⁴⁾

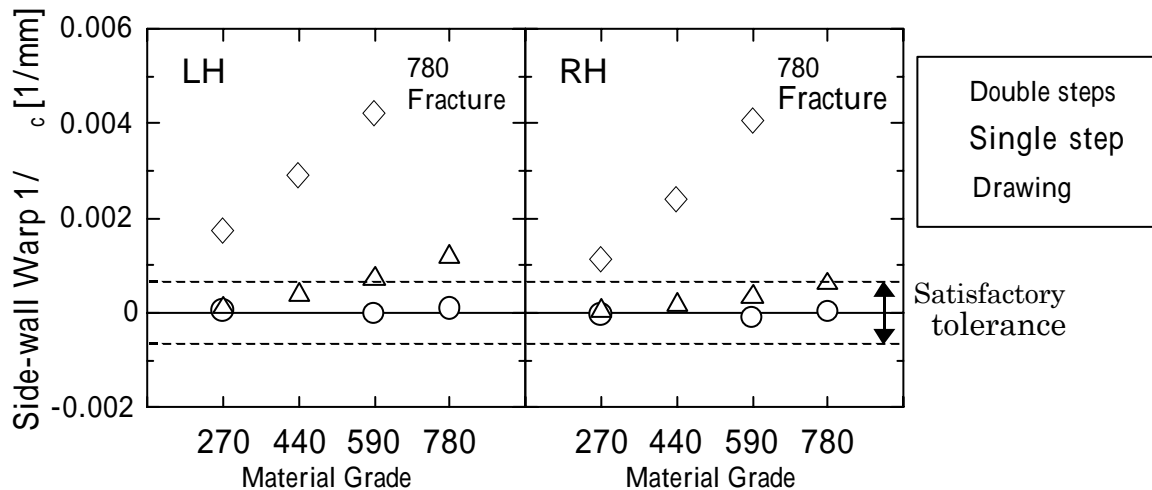


Fig.7 Effect of Developed Method on Side-wall Warp⁽⁴⁾

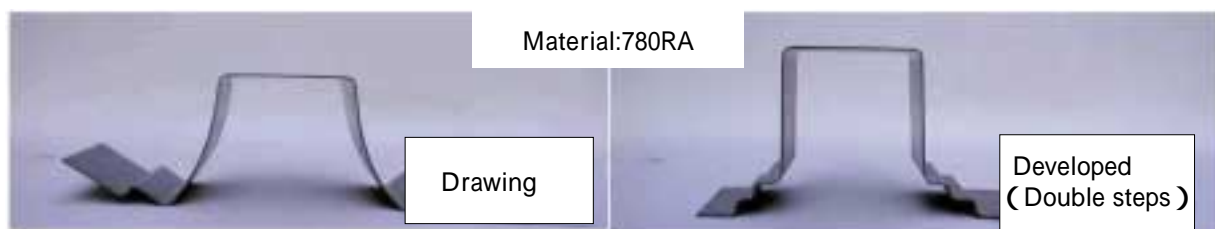


Fig.8 Comparison of Shape-accuracy in Drawing and in Developed (Double steps)⁽¹⁾

Table 4 Mechanical Properties (thickness:1.2mm)⁽⁴⁾

Material		YP	TS	El	n	r
Grade	Type	(MPa)	(MPa)	(%)	-value	-value
780RA	Retained Austenite	467	799	31.8	0.242	1.10

各供試材（強度レベル270MPa～780MPa）におけるモデル金型実験での壁そり量測定結果をFig.7に示す。通常絞り成形では材料強度が増すにつれて壁そりが大きくなっているのに対し、開発技術（Double steps, Single step）では壁そりがほとんどないことがわかる。しかも通常絞り成形では780MPa材で破断が発生したが開発技術では発生しておらず、本技術はハイテンの成形性向上に対しても有効であることを確認した。

またFig.8に780MPa級高延性材（RA：残留鋼）を供試して壁そりの発生状況を比較した写真を示す（供試材の機械的特性値をTable 4に示す）。この結果からも明らかに、開発技術が形状凍結不良解決に対して非常に有効であることが確認できた。

4. おわりに

本技術はトリビュートのフロントフレームB, アテンザのフロントサイドレインフォースメント, サイドフレームアウターに適用され、壁そり対策のための金型修正が不要になったことにより金型準備期間の短縮に貢献した。また上記フロントフレームBでは社内加工部品で初めて590MPa級のハイテンを適用可能にして部品の板厚を1.4mmに抑えることができた。

参考文献

- (1) 超高張力鋼板にも適用可能な薄鋼板のプレス成形技術を開発・実用化, 住友金属工業ニュースリリース (2002年7月19日)
- (2) 薄鋼板成形技術研究会: プレス技術, 23・15, p.17 (1985)
- (3) 薄鋼板成形技術研究会編: プレス成形難易ハンドブック第2版, 日刊工業新聞社, p.190 (1997)
- (4) Masahiro Nakata, Yozo Hirose, Nobuyuki Nakado, Takahisa Ogawa: Development of Shape-fixing press forming technology for high strength steel sheet, Proceedings of the 22nd IDDRG Biennial Congress, p79-88 (2002)

著者



小川貴久



中田匡浩

論文・解説

40

テーラードブランクへのプラズマ溶接の適用 Application of the Plasma Welding to the Tailore-Welded Blanks

大西 渉^{*1} 猪 一郎^{*2} 山口 英毅^{*3}
Wataru Ohnishi Ichiro Ino Hidetake Yamaguchi
丸石 宏昭^{*4} 網 清一郎^{*5}
Hiroaki Maruishi Seiichiro Tsuna

要 約

近年の自動車業界の大きな課題である燃費向上と衝突安全性の確保に向け、各自動車メーカーとも軽量でかつ強度、剛性が高いボデー構造を実現するため、様々な新工法の開発に取り組んでいる。マツダではこうした商品性の向上とコスト削減を両立させる新技術として、アテンザ以降、新型デミオ、RX-8などの新型車に多数枚の板材を接合した後に成形するマルチタイプのテーラードブランクを大幅に採用した。テーラードブランクの溶接法としてはレーザー溶接が一般的であるが、設備投資削減と生産性の向上に向けて、高速でロバストなプラズマ溶接技術の開発に取り組み、量産導入したので紹介する。

Summary

In recent years, one of important issues is to improve fuel efficiency and collision safety. We have tackled the new construction method for developing body structure which has lightweight and high strength/stiffness. We has adopted the multi type Tailore-Welded Blanks which is formed after the welding process of several steel sheet, which has been employed in Atenza, New Demio, and RX-8. This is a new technology for consistent improvement of merchandise nature and cost reduction. Laser welding is a common method for welding the Tailore-Welded Blanks, but for farther equipment cost reduction and improvement of productivity. We have developed the high-speed and robust plasma welding and introduced into mass production. This paper introduces how to tackle the plasma welding technology.

1. はじめに

環境保全や衝突安全性に対する意識が高まる中、自動車メーカーはより軽量で剛性の高い車を市場投入することが求められており、このニーズに応えるべく様々な新工法の開発を進めている。車体領域においては、その中の1つである多数枚(4~5枚)のブランク材を接合したマルチタイプのテーラードブランク(Tailore-Welded Blanks; 以下TWB)をアテンザ、新型デミオに続き、RX-8においても採用した。

TWBは材質、板厚など特性の異なる材料をボデー強度と剛性上最も適した部位に配置することによるボデーの軽量化及び強度、剛性の向上と、部品を一体化することによる生産コスト削減を両立することが可能な工法である。一

般的にTWBの接合に用いる溶接方法を見ると、圧倒的にレーザー溶接の採用が多い。レーザー溶接は高エネルギー密度の熱源であるため、高速かつ極小ビードを形成できる反面、溶接前の板材の精度、溶接位置決め治具内での板材位置決め精度に対する要件が厳しい。したがってブランキング、溶接位置決め治具に大きな初期投資が必要となるとともに、ブランキング時の品質検査や溶接設備の維持管理などランニングコストにも大きな課題を抱えている。特に今回採用したサイドフレームレインフォースメントは多数枚のブランク材を溶接するマルチタイプのTWBであるため、大きな設備投資がかからず、生産効率が高い安定した溶接技術の構築が急務であった。そこでレーザーに比べて投資がかからず、熱源の幅の広いアーク溶接、中でもアークの絞り性の高いプラズマ溶接に着目し、技術開発を行った。

* 1 ~ 5 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

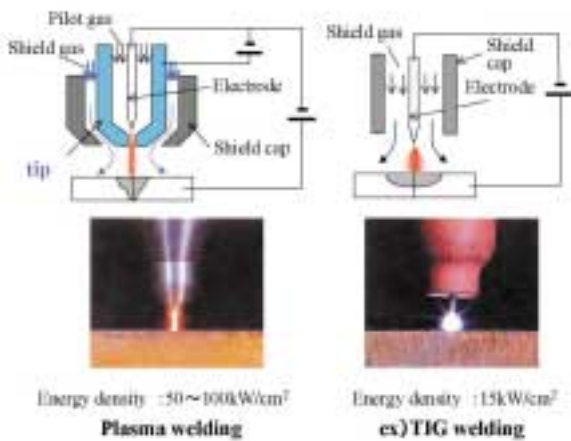


Fig.1 Plasma Welding Principle

プラズマ溶接の技術開発にあたっては、溶接速度の高速化と品質の安定化の両立を狙い、溶接及び溶接位置決め治具、板材それぞれについて適正化を実施した。本稿ではその中で溶接に関する取り組み内容を中心に報告する。

2. プラズマ溶接の特徴と課題

2.1 プラズマ溶接とは

プラズマ溶接はタングステンイナートガスアーク溶接（以下TIG溶接）などと同じ非消耗電極式に属すタングステン電極を用いたアーク溶接である。Fig.1にプラズマ溶接の模式図を示す。

プラズマとは気体が高温化し、イオンと電子に分離した電気伝導度の高い気体状態のことをいう。プラズマは周辺を冷却すると放熱しないように収縮する（サーマルピンチ効果という）特性を持っている。プラズマ溶接はこの特性を活かし、電極棒と母材との間に水冷した銅製のチップと2層のガスによりプラズマを冷却し、アークを収縮させてエネルギー密度の高い熱源として溶接するところが特徴である。したがって、TIG溶接などに比べてより高速でかつひずみの少ない溶接方法である。

2.2 プラズマ溶接とレーザー溶接の特性

Fig.2にプラズマ溶接とレーザー溶接の代表的な断面形状と硬さ分布を示す。プラズマ溶接は、レーザー溶接に比べてビード表面は滑らかであるがビード幅が広いことが分かる。そのため、溶接した材料（以下溶接材）の強度や耐食性、成形性に差があることが予測され基礎評価を実施した。その事例を紹介する。

(1) 強度

溶接材の強度を評価するため、引張り強さと疲労強度について調査した。590MPa級ハイテン材の板厚1.6mm同士を突き合わせて溶接し、JIS 5号試験片に加工して引張り試験と疲労試験を実施した。その結果をFig.3に示す。プラズマ溶接材の引張り強さについては母材やレーザー溶接材

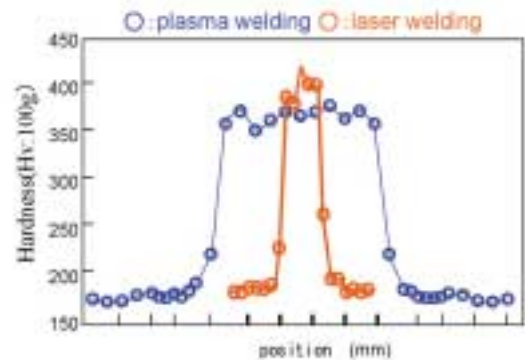
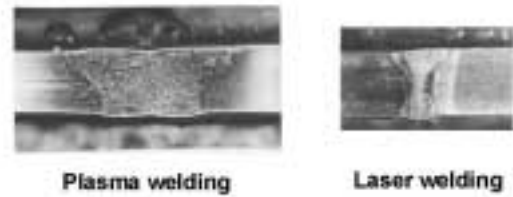


Fig.2 Sectional Distribution of Laser Welding and Plasma Welding

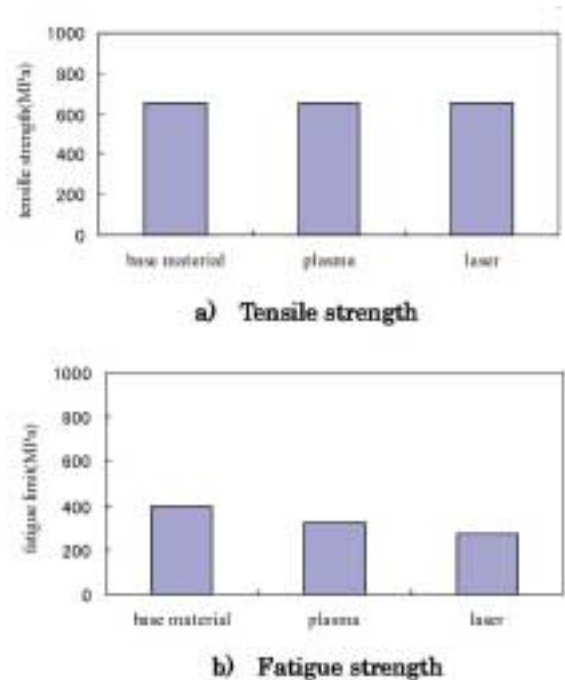


Fig.3 Tensile Strength and Fatigued Strength of Each Welding Material

と同等、疲労強度を観ると、母材に比べて20%程度低下するが、レーザー溶接材と同等以上のレベルにあることが分かった。

(2) 耐食性

板厚0.8mmと1.6mmの亜鉛メッキ鋼板を突き合わせ溶接し、脱脂、化成処理を行い、電着塗装を施した溶接材を用いて複合腐食試験を実施した。その結果をFig.4に示す。腐食深さはレーザー溶接材とプラズマ溶接材で大きな違いは

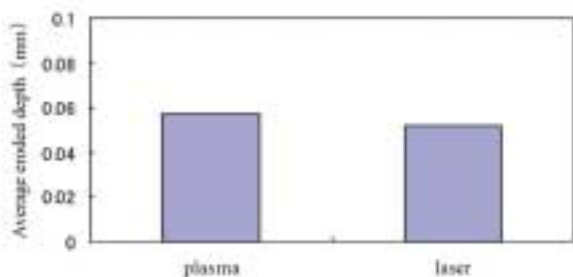


Fig.4 Corrosion Resistance Evaluation

なく、同等の耐食性能を有していることが分かった。レーザ溶接はビード幅が狭いため、亜鉛メッキの犠牲防食作用により耐食性が確保できる。一方、プラズマ溶接の場合は、レーザに比べるとビード幅が広いのでこの作用は少ない。しかし、ビードが滑らかであるため、レーザ溶接部の最小電着膜厚が1 μmであるのに対し、プラズマ溶接部は10 μmと塗膜の着きまわりが良く、耐食性が確保できたと考えられる。

(3) 成形性

プレス部品は様々な成形形態であるため、成形限界線図(以下FLD)を用いて調査した。590MPa級ハイテン材を突き合わせて溶接し、各変形モードになるように50mmから200mmの幅に試験片を切り出し、球頭張出し試験を実施しFLDを作成した。その結果をFig.5に示す。プラズマ溶接材はレーザ溶接材に比べるとビードの幅が広いので成形性が劣るものの実用性の面で問題を生じるレベルでないと判断した。

(4) 突き合わせ隙及び狙い位置に対する優位性

TWBは、ブランク材を突き合わせて溶接するため、ブランク材同士を突き合わせた時の隙が溶接不良(溶け落ち)の発生に大きく関係する。また、突き合わせ部に対する溶接トーチの狙い位置がずれると、突き合わせ部の溶接の溶け込みがずれて完全に接合されていない状態、いわゆる開先未溶接となる。

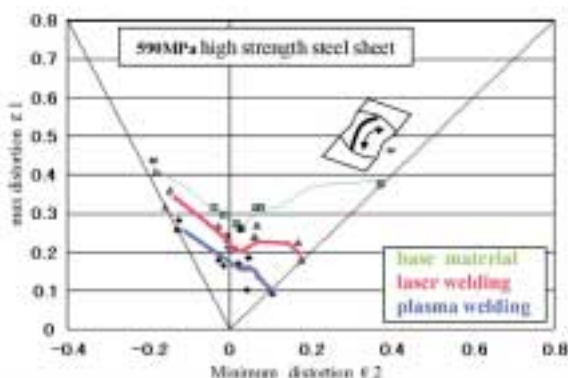


Fig.5 FLD Evaluation

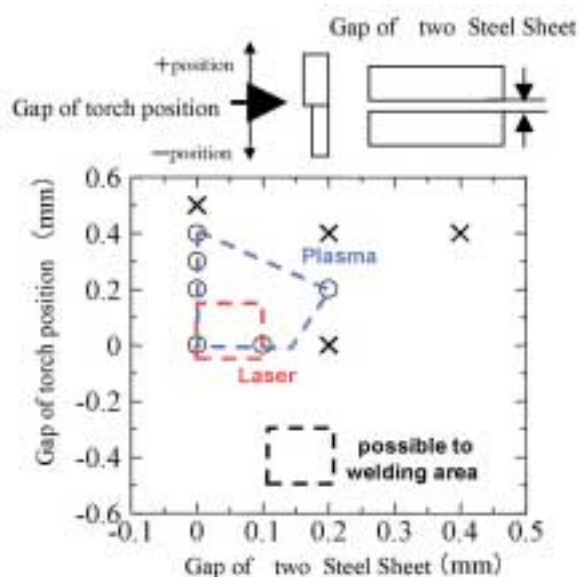


Fig.6 Comparison between Equipment of Laser and Plasma Welding

Fig.6は、レーザ溶接とプラズマ溶接において、突き合わせ時の隙と溶接トーチの狙い位置に対して溶接可能な範囲を比較したデータである。レーザ溶接に比べプラズマ溶接は突き合わせ隙と狙い位置ずれに対する許容値が広いことが分かる。高速条件下でもこの優位性を確保することが重要である。

3. プラズマ溶接技術の開発

3.1 要求される溶接品質

プラズマ溶接技術の開発にあたり、まず第一にTWB接合部に求められる溶接品質基準を明確にした。溶接部に要求される性能は、強度や耐食性などボデーに要求される機能を満足すること、及びプレス成形時に溶接部で成形割れなど不良が発生しないことである。そこで、テストピースを用いて強度と成形性の試験を行い、仮の品質基準を作成した。その基準の下限レベルを試作車に織込み要求される全てのテストモードで評価した後、Table 1に示す各溶接品質に対して基準を決定した。その一例として溶接部と母材との境に生ずる窪み(以下アンダーカット)に関するテストピース試験の事例を以下に示す。

アンダーカットは応力集中源となるため、特に繰り返し応力に対する疲労強度の低下や成形時に割れるなどの性能劣化が予測される。そこで、まずアンダーカットと疲労強度の関係を調査した。板厚1.6mmと2.9mmの590MPa級ハイテン材をアンダーカットが発生するような条件で突き合わせ溶接し、疲労試験を実施した。その結果をFig.7に示す。アンダーカットが母材の板厚の5%発生すると疲労強度は低下し始め、以降はアンダーカットの増加に伴い比例

Table 1 Plasma Quality Datum

品質評価形式	写真	説明
縦溝溶接		溶接部の深さが浅くなっている
アンダーカット		母材と溶接部の間に亀裂が生じている
クラック		溶接部に亀裂がある
溶接不良		溶接部の深さが浅い 溶接部の深さが浅い 溶接部の深さが浅い 溶接部の深さが浅い
穴開き		溶接部が溶けてしまっている

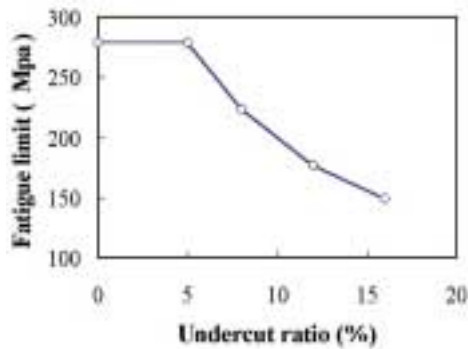


Fig.7 Relation between Undercut and Fatigued Strength

的に低下する傾向にあることが分かる。

次に、アンダーカットと成形性の関係についても、同様にサンプルを作製して、等2軸領域と平面ひずみ領域の2タイプで球頭張り出し試験を行い、調査した。その結果をFig.8に示す。等2軸領域の場合は、アンダーカットが増えても同じ成形高さを示しているが、平面ひずみ領域ではアンダーカット量が13%程度で成形性が悪くなることが分かる。

以上のように強度、成形性の2点から溶接部継ぎ手形状について各々品質基準を設定した。

3.2 高速化の検討

構築した技術を量産導入するにあたり重要なことは、当然のことながら安定した品質を低コストで保証することである。それをいかに高速条件下で達成するかが、今回の技術開発のポイントであった。

溶接速度を高速化するためには、1)電流値を上げ溶融部への単位時間当たりの入熱量を上げる、2)サーマルピンチ効果を促進しアークの電流密度を上げる、といった2つの方法が考えられる。しかし、Fig.9に示すように、1)の方法ではアークを絞る働きをする電極チップの穴径に対して限界電流があり、許容値を超えると電極チップが溶けて正常な溶接が困難となる。また、穴径を大きくし電流を上げ

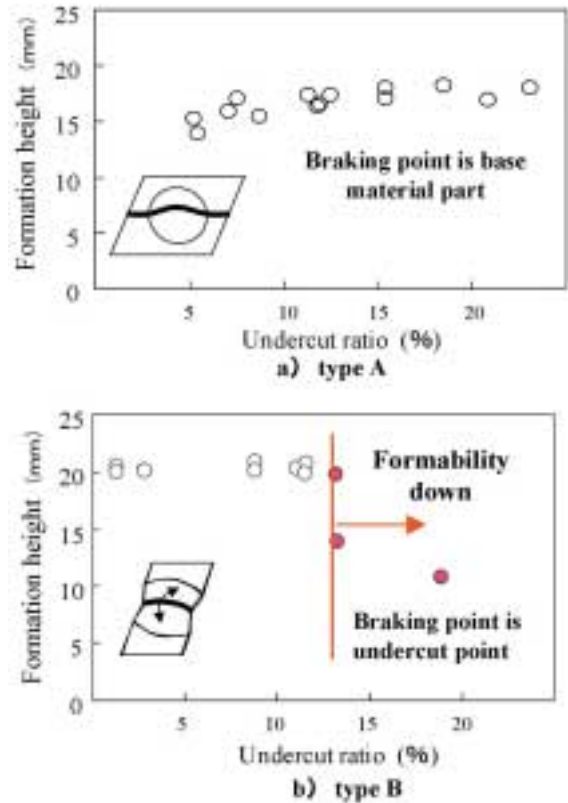


Fig.8 Relation between Undercut and Formability

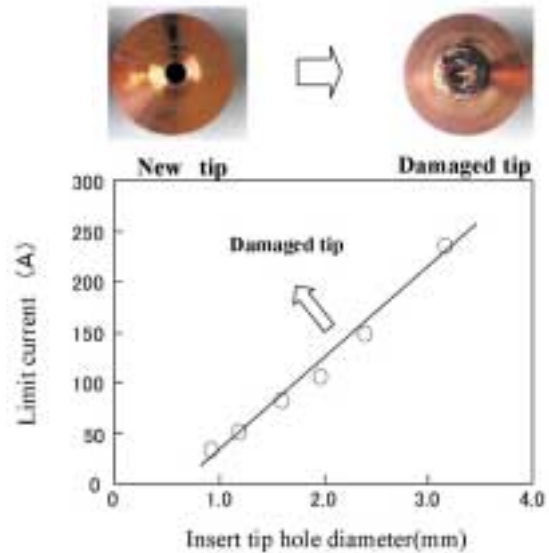


Fig.9 Limit Current Density to Insert Tip Hole Diameter

るとアークの絞りが弱くなるため、電流密度が下がり、溶け込みが浅くなる。したがって溶接速度の高速化の基本的な考え方として、2)のサーマルピンチ効果を促進しアークの電流密度を上げる方法を採用することとした。

サーマルピンチ効果を促進する方法として、まず電極チップの冷却効率を向上させることに取り組んだ。冷却効率

向上の施策として、熱伝導率の高い材質への変更、冷却水の流量変更などを試みたが、これだけでは十分な結果が得られなかった。そこで、パイロットガスとシールドガスの冷却効率を向上させることにより、高速化を実現する溶接方式の構築を進めた。

(1) パイロットガス流量の適正化

Fig.10にパイロットガス流量と溶接部形状との関係を示す。パイロットガス流量を上げると同じ電流値で溶接しても溶け込みが深くなり、パイロットガス流量を増加させることにより同じ電流値でもアークの電流密度を上げ高速化できることが分かる。しかし、Fig.11に示すとおりパイロットガス流量を上げるとアンダーカット量は増加し、また高速の方がアンダーカット量は増える傾向にあることが分かる。アンダーカットが発生した溶接部の断面形状を見ると、溶接部の中央部が盛り上がった形状をしている。このことから溶接時にアーク直下の熔融金属が押し下げられ、その熔融金属が後方に盛り上がった状態で凝固していくため、アンダーカットが発生すると考えられる。したがって、パイロットガス流量を上げた場合は、熔融金属が押し下げられる割合が増し、アンダーカットが大きくなり、速度を上げた場合は、熔融池後方に盛り上がった熔融金属が自重で平滑になる前に凝固し始めるため、アンダーカットが大きくなると考えられる。パイロットガス流量を適正化する

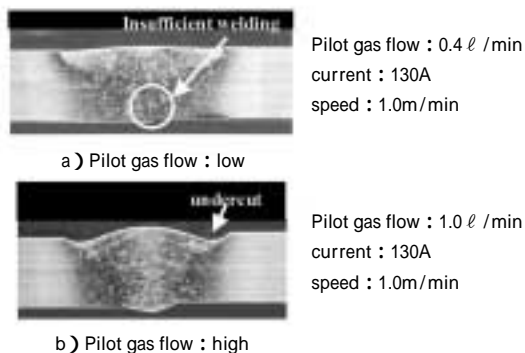


Fig.10 Relation between Pilot Gas Flow and Weld Shape

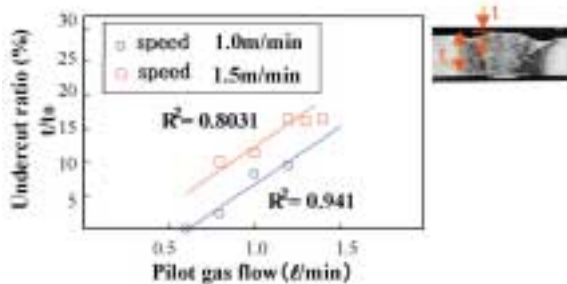


Fig.11 Relation among Undercut, Pilot Gas Flow Rate, and Weld Speed

ことで、前述の基準内に抑制できることが分かった。

(2) シールドガスのガス成分の適正化

シールドガスには通常アルゴンを用いるが、微量の水素を混合するとアークを絞ることができる。Fig.12にアルゴンガスのみで施工した場合と、アルゴンガスに水素ガスを7%混入した混合ガスで施工した時の溶接部形状を示す。シールドガスに水素を混ぜることで溶け込みも深くなり、同じ電流値でもアークの電流密度を上げ高速化することができることが分かる。これは水素がアークの熱を吸収して解離するためサーマルピンチ効果が促進され、アークがより絞られるためと考えられる。しかし、一般的に水素は鋼に固溶するため、ブローホールなどの内部欠陥が発生する可能性がある。そこで、溶接した溶接材をX線試験して内部欠陥の有無を調査した。Fig.13は水素の混合比率と300mm当たりのブローホール数の関係を示したグラフである。混合比率が10%を超えるとブローホールが発生し始め、混合比率が25%になるとブローホールが急激に増加する。シールドガス中の水素ガスの混合比率を適正化することで、ブローホールを抑制できることが分かった。

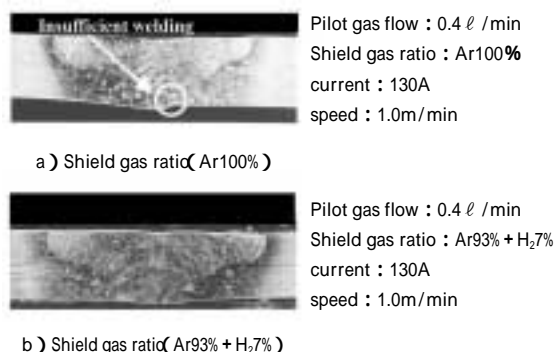


Fig.12 Relation between Shield Gas Element and Weld Shape

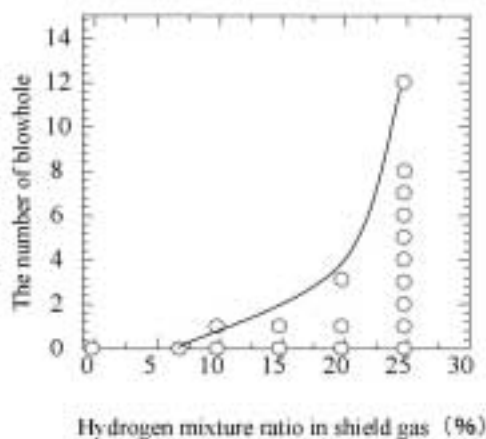


Fig.13 Relation between Hydrogen Mixture Ratio in Shield Gas and Number of Blowholes

以上のように、高速化するためには、パイロットガス流量とシールドガス中の水素の混合比率が重要であることが分かった。板組みなどに合わせて品質基準内になるように溶接条件を適正化し、条件管理を徹底することで、例えば、板厚が1mm程度の薄板の場合は速度2m/min、2mm程度の厚板の場合は速度1m/minの高速条件でも安定した品質を確保できるプラズマ溶接が可能となった。

4. おわりに

一例としてRX-8に採用したTWBを紹介する。Fig.14に示す部品が、プラズマ溶接により5枚のブランク材を溶接し、プレス成形したサイドフレームレイフォースメントと呼ばれるサイドフレームの補強部品である。各溶接部ともに良好な溶接ができており、溶接不良率は1%以下で量産することができた。溶接ライン1本あたりに換算すると約0.2%となり、レーザ溶接と比較すると約1/5の不良率であり、大幅に生産性を向上することができた。

最後に、このプラズマ溶接技術の開発に当たり多大なご協力を頂いた、新日本製鐵(株)、住友金属工業(株)、日鐵溶接工業(株)に感謝の意を表します。

著者



大西 渉



猪 一郎



山口英毅



丸石宏昭



網清一郎



Fig.14 Forming Panel of RX-8 Side Flame Rain

社外への発表論文一覧表（平成14年 1月～12月）

1. 社外講演（海外）

* 所属は原則発表時点を示す

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
SAE World Congress 2002	2002.3.4-7	SAE	2002-01-0743 An Analysis of Droplets and Ambient Air Interaction in a D.I. Gasoline Spray Using LIF-PIV Technique	李 智根 山川 正尚 一色 誠治 西田 恵哉	広島大学 第3エンジン開発部 広島大学 同上
			2002-01-0814 Modeling for Functional Expression of Rotary Apparatus	角田 鎮男 長松 昌男 平松 繁喜	CATEC(株) 北海道工業大学 第3エンジン開発部
			2002-01-1094 Measurement of Oxygen Storage Capacity of Three-way Catalyst and Optimization of A/F Perturbation Control to its Characteristics	宮本 浩二 竹林 広行 石原 隆久 城戸 博行 畑村 耕一	PTシステム設計部 同上 同上 同上 畑村エンジン研究所
			2002-01-1218 The Complex Cornering Compliance Theory and its Application to Vehicle Dynamics Characteristics	辻 幸二	シャシー開発部
			IGQ International Gear Conference)	2002.3.14	VDI (Verein Deutscher Ingenieure)
INICAP Workshop	2002.4.19	Inje University	Trend of Brake system and components	吉岡 史朗	第3プラットフォーム・プログラム開発推進室
			Development of Electric Power Assisted Steering	竹原 伸	CAE部
International Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition	2002.5.6-9	SAE	2002-01-1644 Quantitative Measurement of Liquid and Vapor Phase Concentration Distributions in a D.I. Gasoline Spray by the Laser Absorption Scattering (LAS) Technique	山川 正尚 高木 大介 李 鉄 張 玉銀 西田 恵哉	第3エンジン開発部 広島大学 近畿大学 広島大学 同上
22nd IDDRG (International Deep Drawing Research Group) Biennial Congress	2002.5.20-22	JDDRG (Japan Deep Drawing Research Group)	Development of Shape-fixing press forming technology for high strength steel sheet	中田 匡浩 中土 信之 小川 貴久	住友金属工業(株) 車体技術部 同上
14th World Hydrogen Energy Conference	2002.6.9-13	International Association for Hydrogen Energy	The ignition behavior of damaged metal hydride tank by external force	對尾 良則 山本 幸男 森本 賢治 水島 善夫	技術研究所 同上 同上 同上

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
International symposium on metal hydrogen systems	2002.9.2-6	MH 2002 Centre National de la Recherche	Investigation on fire resistance of the metal hydride tank for vehicle	森本 賢治 山本 幸男	技術研究所 同 上
			Mg-Ti Binary alloy with BCC structure	秋葉 悦男 崔 乘準	産業技術総合研究所 技術研究所 (現 Chonnam National Univ.)
				榎 浩利 對尾 良則	産業技術総合研究所 技術研究所
Avec 02 Symposium	2002.9.9-13	Avec 02 Organizing Committee in JSAE	Precise6-DOF movement measurement for vehicle with GPS and angler rate sensor and kalman filtering method	福庭 一志 足立 智彦 吉本 光洋 高橋 弘行 吉岡 透	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
			Construction of stopping distance simulation using Hardware-In-the-Loop technique	高木 章智	シャシー開発部
			Control Logic Design and Development of Electric Power-Assisted Steering (EPAS)	竹原 伸	CAE部
5th Oxford Kobe Materials Seminar : Automotive materials	2002.9.10-13	Kobe Institute	The present and future of plastic technology for automotive modules	藤 和久	技術研究所
Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2002	2002.10.7-9	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger	Mazda's new CR DI diesel engine with multiple injection	寺沢 保幸 中井 英二 中尾 正美	技術研究所 第2エンジン開発部 パワートレイン開発推進部
				佐原 正憲 片岡 一司	第2エンジン開発部 技術研究所
9th World Congress on ITS	2002.10.14-17	ITS America	A human interface design of multiple collision warning system	末富 隆雅 新部 忠幸	技術研究所 同 上
Euro PAM 2002	2002.10.21-22	ESI Group	Prediction of Aerodynamic Noise Generated in Production Vehicle by PAM-FLOW	李 曄 上岡 孝志	車両実研部 第2ITソリューション推進部
				農沢 隆秀 中村 貴樹	車両実研部 同 上
				岡田 義浩 市川 成義	同 上 北陸先端科学技術大学院大学

2. 社外講演（国内）

* 所属は原則発表時点を示す

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
西日本トライボロジー基礎講座	2002.1.10-11	日本トライボロジー学会	トライボロジーの実際 自動車エンジンのトライボロジーとその解析	栗栖 徹	パワートレイン先行開発部
広島ロジスティクス特別講演会	2002.1.16	日本ロジスティクスシステム協会	生産環境の変化に柔軟に対応できるフレキシブル部品供給作業構築への取り組み	森本 達郎	PT技術部
電気化学会セミナー最先端電池技術2002	2002.1.25	電気化学会	クルマにおける燃料電池自動車の開発状況	水島 善夫	技術研究所
公差解析による品質改善とその実例	2002.2.4	(株)日本テクノセンター	企画～生産迄の業務・プロセスを革新するMDI概念に則り、品質業務のクローズドループを描いた「品質革新」活動の実例	大矢 武二	経営革新プロジェクト室
Noise & Vibration Conference 2002 (第4回 I-DEAS Test Users Conference)	2002.2.5	エムティエスジャパン(株)	T/Mギヤノイズの実験解析技術	神田 靖典	ドライブトレイン開発部
第4回電子・情報技術交流研究会	2002.2.14	中国技術振興センター	クルマにおけるIT化の現状と将来動向 - AHS関連 -	藤田 健二	技術研究所
情報通信講演会	2002.2.26	総務省 中国総合通信局	クルマにおけるIT化の現状と将来動向 - AHS関連 -	藤田 健二	技術研究所
自動車技術会 ヒューマンファクタ専門委員会	2002.2.28	自動車技術会	人間行動プロジェクトにおける運転者状態（運転疲労）、運転者属性（負担感受性、運転スタイル）計測に関する研究状況のご紹介	古郡 了	技術研究所
JEVA 電気自動車セミナー	2002.2.28	日本電動車両協会	マツダ・プレマシーFC-EVの紹介と公道走行試験について	柏木 章宏	第4プラットフォーム・プログラム開発推進室
第2回燃料電池自動車国際シンポジウム	2002.3.1	運輸低公害車普及機構	マツダ・プレマシーFC-EVの紹介と公道走行試験について	柏木 章宏	第4プラットフォーム・プログラム開発推進室
Digital human modeling -Motion generation-	2002.3.4	産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究ラボ	人間特性に基づいた車両開発	吉澤 公理	技術研究所
日本機械学会生産システム部門講演会2002	2002.3.27	日本機械学会 生産システム部門	新技術開発賞表彰「ロットレーサビリティシステム、素材・加工生産指示システム、キットサプライ生産システム」	宮中 弘志	PT技術部

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
2002年日本金属学会春 期大会	2002.3.28-30	日本金属学会	(1062) Mg-Ti ₂ 元系合金のBCC構造化	對尾 良則 崔 乘準 榎 浩利 秋葉 悦男	技術研究所 同 上 産業技術総合研究所 同 上
先端技術分科会講演会	2002.4.15	日本自動車部 品工業会関西 支部	21世紀を走る燃料電池自動車	水島 善夫	技術研究所
品質工学特別セミナー	2002.4.20	日本規格協会	生産技術と工程管理における品質工学 の適用	安達 範久	PT技術部
第2回機素潤滑設計部 門講演会	2002.4.22-23	日本機械学会	人工知能を用いたハイポイドギヤの歯 当り評価システムの開発	森脇 一郎 田中 宏明	京都工芸繊維大 PT技術部
シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性 と人間工学」	2002.4.25-26	日本人間工学 会 モバイル 人間工学研究 部会	運転スタイル、負担感受性チェックシ ートの開発と経路選択嗜好の分析への 適用	石橋 基範 大桑 政幸 古郡 了 赤松 幹之	人間生活工学研究セ ンター 同 上 技術研究所 産業技術総合研究所
日本OPC協議会技術フ ォーラム	2002.5.10	日本OPC協議 会	マツダにおけるデジタル・マニュファ クチャリング	田神 章一	第2ITソリューション 推進部
計測診断分科会	2002.5.14	自動車技術会	話題提供「小型直噴ディーゼル機関の 燃焼改善によるNOx低減」	志茂 大輔	技術研究所
日本人間工学会 第43 回大会	2002.6.1-2	日本人間工学 会	1E10 表情筋活動から見た自動車運転 における快・不快感の評価	菅原 徹 佐渡山亜兵 上條 正義 岡本 宜久	信州大学 同 上 同 上 技術研究所
			2C8 操縦安定性能開発のためのEOGに よる視線方向の計測	山野 陽子 岡本 宜久 梶川 浩子 正守 一郎	技術研究所 同 上 同 上 同 上
			2F1 自動車用アクセルペダルの最適操 作性と人間特性の考察	阿部 治彦 古川 浩二 西川 一男 農沢 隆秀	車両実研部 同 上 同 上 同 上
			2F3 上肢の可操作性評価手法の自動車 ドア操作への適用	山田 直樹 米澤 泰延 正守 一郎 辻 敏夫	技術研究所 同 上 同 上 広島大学

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
日本鑄造工学会中国四国支部創立50周年記念講演会	2002.6.13	日本鑄造工学会中国四国支部	JKS-I10 Individual variation analysis of body pressure distribution for long term driving simulation task	三浦 泰彦 吉澤 公理 古郡 了	技術研究所 同上 同上
			自動車材料の現状と将来	岡崎 健	技術研究所
第10回品質工学研究発表大会	2002.6.13	品質工学会	機械加工量産ラインにおけるオンライン品質工学の実践	井田 吉人 安達 範久	PT技術部 同上
			CAEを用いた鑄造用鑄型設計条件の最適化	垣田 健	PT技術部
計測制御シンポジウム2002	2002.6.29	計測自動制御学会中国支部	マツダASV-2におけるセンサ技術	山本 康典	技術研究所
第38回技術交流会	2002.7.5	自動車技術会	テーラードブランクにおけるプラズマ溶接の適用	猪 一郎	車体技術部
燃料燃焼研究委員会	2002.7.9	自動車技術会	話題提供「小型直噴ディーゼル機関の燃焼改善によるNOx低減」	志茂 大輔	技術研究所
品質工学セミナー（生産・製造部門のためのコース）	2002.7.17	日本規格協会	量産ラインにおけるオンライン品質工学の適用事例	井田 吉人	PT技術部
B&K User Conference	2002.7.22	松下インターテクノ(株)	Analysis of Helical Gear Whine in Transmission	神田 靖典	ドライブトレイン開発部
2002年春季大会 学術講演会	2002.7.23-25	自動車技術会	40 金型加工における機械加工時間短縮	西山 為裕 大田 敦史	ツーリング製作部 車体技術部
			90 Verification of Aerodynamics Noise Simulation by Modifying Automobile Front-pillar Shape	李 暉 上岡 孝志	車両実研部 第2ITソリューション推進部
				農沢 隆秀 中村 貴樹 岡田 義浩	車両実研部 同上 同上
			129 車両の耐久強度解析手法の開発	田村 秀二	CAE部
			145 射出成形ガラス長繊維強化複合材によるモジュールキャリアの開発	栃岡 孝宏 田中 高廣 田中 力	技術研究所 車両技術部 技術研究所
			154 車体フレームの剛性に対する充填材の効果	深堀 貢 石田 恭聡	技術研究所 同上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
				古谷 茂樹 近藤 貴久	シャシー開発部 技術研究所
			177 GPSと角速度計測のフュージョンによる車両姿勢計測技術	福庭 一志 足立 智彦 高橋 弘行 吉本 光洋 吉岡 透	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
			196 伝達特性計測手法を適用したシリンダブロック構造変更による放射音低減	樫本 正章 笹田 卓司 鳥越 祐児 熊野 昌平	技術研究所 第2エンジン開発部 マツダ産業(株) 技術研究所
			209 コモンレール方式直噴ディーゼルエンジンMZR-CD	中井 英二	第2エンジン開発部
			259 長時間運転時のドライバ挙動変化の分析	古郡 了 三浦 泰彦 吉澤 公理 稲目 力	技術研究所 同 上 同 上 同 上
品質工学セミナー（入門コース）	2002.8.7	日本規格協会	生産技術と工程管理における品質工学の適用	井田 吉人	PT技術部
2002年度第1回講習会	2002.8.23	自動車技術会 関西支部	機械設計法-乗用車用エンジン冷却系（RE編）	藤本 順章	第2エンジン開発部
排水・廃棄物リサイクル技術研究会	2002.8.23	ひろしま産業 振興機構	自動車用プラスチックバンパーのリサイクル技術	森脇 健二	技術研究所
振動騒音部門委員会	2002.9.3	自動車技術会	話題提供「伝達特性計測手法を適用したシリンダブロック構造変更による放射音低減」	樫本 正章	技術研究所
第4回日本感性工学会	2002.9.13	日本感性工学会	顔の筋電図による情動変化の研究	菅原 徹 岡本 宣久 佐渡山 亜兵 上條 正義 細谷 聡	信州大学大学院 技術研究所 信州大学 同 上 同 上
機械学会2002年度年次大会	2002.9.25-27	日本機械学会	ドライビングシミュレータの現状『シミュレータ技術とASVへの活用』	末富 隆雅	技術研究所
平成14年度省エネルギー優秀事例全国大会	2002.9.26	省エネルギー センター中国 支部	セミドライ加工による省エネルギー機械加工ラインの実現	山下 貢丸 中西 克司	PT技術部 同 上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
MEとバイオサイバネティックス研究会	2002.9.27	電子情報通信学会	顔面筋の筋電図による情動の計測	菅原 徹 佐渡山垂兵 上條 正義 岡本 直久	信州大学 同上 同上 技術研究所
新事業開発研究会	2002.10.2	大阪工業会	企画～生産迄の業務・プロセスを革新するMDI概念に則り、品質業務のクローズドループを描いた「品質革新」活動の実例	大矢 武二	車両コンポーネント開発本部
NEC CAEセミナー	2002.10.3	日本電気(株)	Mazda Virtual Testingのコンセプトと事例紹介	西山 晟人	MDIプロジェクト推進室
日本テクノマティックス第10回ユーザー・フォーラム	2002.10.4	日本テクノマティックス	マツダのMDI活動～機械加工領域での取り組み	鳥居 元	PT技術部
第17回内燃機関シンポジウム	2002.10.9-11	自動車技術会, 日本機械学会	2波長レーザー吸収散乱法による直噴ガソリン噴霧内の混合気濃度分布計測(噴射条件の影響)	山川 正尚 高木 大介 李 鉄 張 玉銀 西田 恵哉	第3エンジン開発部 広島大学 近畿大学 広島大学 同上
3次元時代の公差管理	2002.10.16	日経BP社	企画～生産迄の業務・プロセスを革新するMDI概念に則り、品質業務のクローズドループを描いた「品質革新」活動の実例	大矢 武二	車両コンポーネント開発本部
第3回人間行動適合型生活環境創出システム技術シンポジウム	2002.10.18	人間生活工学研究センター	体圧変化計測に基づく運転疲労の評価	古郡 了	技術研究所
振動騒音部門委員会	2002.10.21	自動車技術会	チェックシートによる運転者特性の評価	石橋 基範	技術研究所
振動騒音部門委員会	2002.10.21	自動車技術会	話題提供「ドライビングシミュレータを用いたエンジン加速音の官能評価」	福原 千絵	技術研究所
MSC ADAMSユーザー・コンフェレンス2002	2002.10.21-22	メカニカル・ダイナミクス・ジャパン(株)	Mazda Virtual Testingのコンセプトと事例紹介	西山 晟人	MDIプロジェクト推進室
MSC ADAMSユーザー・コンフェレンス2002	2002.10.21-22	メカニカル・ダイナミクス・ジャパン(株)	ADAMS/Drivelineによるクラッチエンゲージショック解析	藤川 智士	パワートレイン先行開発部
経営工学会実践研究論文発表会	2002.10.25	日本経営工学会中国・四国支部	エンジン工場におけるロットトレーサビリティシステムの開発	川上 真一	PT技術部

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
2002年度自動車技術会関西支部 第2回講習会	2002.11.8	自動車技術会 関西支部	CAT/CAE活用によるロードノイズ低減	中野 伸一	NVH性能開発部
			アイドル振動・こもり音へのCAE適用	中野 伸一	NVH性能開発部
CAESEKI.comソリューション・セミナー	2002.11.11	CAESEKI.com	デジタル革新におけるCAEの役割	滝口 哲郎	第2ITソリューション推進部
日経BPセミナー	2002.11.13	日経BP社, 日経メカニカル, Automotive Technology	プラスチックがクルマを変える～新材料と新工法の新しい可能性～マツダ「モジュールを支える新プラスチック」	栃岡 孝宏	技術研究所
水素貯蔵材料小委員会	2002.11.13	産業技術総合研究所	Mg-Ti ₂ 元系合金の合成	對尾 良則	技術研究所
先端シミュレータ研究分科会	2002.11.14	機械学会交通物流部門	ドライビングシミュレータ技術とその応用	末富 隆雅	技術研究所
第10回プラスチック成型加工学会秋季大会	2002.11.14-15	プラスチック成型加工学会	ガラス長繊維強化複合材の射出成形によるモジュールキャリアの開発	田中 力	技術研究所
				栃岡 孝宏	同上
				田中 高廣	車両技術部
				杉本健一郎	同上
第87回講習会「機械システムの制御の最新動向」	2002.11.15	日本機械学会 中国四国支部	スライディングモード制御を適用したスピン防止システムによる車両運動の安定化	吉岡 透	技術研究所
アクティブセイフティ部門委員会	2002.11.18	自動車技術会	危険警報のヒューマンインターフェイス	末富 隆雅	技術研究所
CDAJユーザーズミーティング2002	2002.11.21-22	C D - A d a p c o Japan Co., LTD.	設計者向けCFDシステム“PT-ECS”の開発	横畑 英明	パワートレイン先行開発部
広島県情報産業協会講演会	2002.11.22	広島県情報産業協会 技術委員会	マツダ(株)におけるITS/テレマティックスの取り組みについて	国分 孝志	第2ITソリューション推進部
品質工学大討論会	2002.11.22	品質工学会	品質工学で生産革新(オフラインからオンラインへの展開)	安達 範久	PT技術部
			大規模量産ラインに対するオンライン品質工学の適用の研究	井田 吉人	PT技術部
			CAEを用いた鋳造用鋳型設計条件の最適化	垣田 健	PT技術部

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
セミナー「リサイクル最新技術～リサイクル技術の高度化とレスポンスブル・ケア」	2002.11.25	化学工学会中国四国支部，中国地区化学工学懇話会	自動車産業におけるリサイクル	藤 和久	技術研究所
2002年秋季大会学術講演会	2002.11.26-28	自動車技術会	59 クランク軸系に起因したエンジンマウント振動の奇数次およびハーフ次成分の発生メカニズム解明	波多野耕二 樫本 正章 森実 健一 熊野 昌平	技術研究所 同 上 同 上 同 上
			68 新しい破壊クライテリアを用いたピストン・シリンダーヘッドの破壊予測技術	天野 浩平 武重 伸秀 平本 健治	技術研究所 同 上 同 上
			70 ピストン系摩擦特性に関する研究	中尾 裕典 栗原 明 山本 寿英 香川 良二	技術研究所 同 上 同 上 同 上
			103 “走り感” 評価における交互作用の定量化	福原 千絵 加村 孝信 未富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上
			106 重厚ドア閉め音創出技術の開発	内田 博志 中村 誠之 山田 勝久 長尾 邦昭 小嶋 直哉 三上 真人	技術研究所 ボデー開発部 同 上 技術研究所 山口大学 同 上
			207 操作性向上のための上肢可操作性予測手法の開発	山田 直樹 米澤 泰延 正守 一郎 川口 克也 中村 誠之 辻 敏夫	技術研究所 同 上 同 上 CAE部 ボデー開発部 広島大学
日経デジタル・エンジニアリング創刊5周年記念セミナー	2002.11.27	日経BP社	開発・製造における3次元活用と将来方向	滝口 哲郎	第2ITソリューション推進部
平成14年度第3回研究会・見学会	2002.11.28	MH利用開発研究会	マツダの燃料電池車開発について	若山 敬平	技術研究所
ドライバー評価手法検討部門委員会	2002.11.29	自動車技術会	運転者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発	石橋 基範	技術研究所

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
メカトロニクス専門委員会	2002.12.2	精密工学会	大規模量産ラインに対するオンライン品質工学の適用	井田 吉人	PT技術部
オートモーティブデジタルプロセスセミナー2002	2002.12.3	デジタルプロセス(株)	Mazda Virtual Testingのコンセプトと事例	西山 晟人	MDIプロジェクト推進室
平成14年度情報処理学会中国支部講習会	2002.12.6	情報処理学会中国支部 中国情報通信懇談会	マツダ(株)におけるITS/テレマティックスの取り組みについて	国分 孝志	第2ITソリューション推進部
自走協NW型音声利用システム研究WG	2002.12.6	自動車走行電子技術協会	警報音の種類に関する研究	末富 隆雅	技術研究所
2002年度市民フォーラム	2002.12.7	自動車技術会関西支部	自動車を盗難から守る	川本 親	ボデー開発部
No.09-02シンポジウム動力伝達系の最新技術2002	2002.12.10	自動車技術会	アテンザ用5MTの紹介	桑原 亘	ドライブトレイン開発部
第22回水素エネルギー協会大会	2002.12.11-12	水素エネルギー協会	水素吸蔵合金タンク破損時の発火性について	森本 賢治 對尾 良則 山本 幸男	技術研究所 同 上 同 上
平成14年度鑄造技術講演講習会	2002.12.11	日本鑄造工学会中国四国支部	鑄造領域における3Dデータの活用	河野 一郎	PT技術部
日本鑄造工学会中国四国支部研究発表会	2002.12.11	日本鑄造工学会中国四国支部	溶解工程の省エネ事例	田中 裕一	PT技術部
品質工学セミナー	2002.12.24	品質工学会	CAEを用いた鑄造用鑄型設計条件の最適化	垣田 健	PT技術部

3. 社外寄稿

* 所属は原則発表時点を示す

寄稿誌名	題 目	発表者	所 属
自動車技術 Vol.56, No.3, P.49-53	危険警報のヒューマンインターフェース	末富 隆雅 新部 忠幸 上村 裕樹	技術研究所 同 上 同 上
自動車技術 Vol.56, No.4, P.67-71	多段式ラインCCDセンサを用いた後側方車両の検知技術	山本 康典 上村 裕樹 藤瀬 一基 是 治久 吉岡 透	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
自動車技術 Vol.56, No.6, P.65-70	MDI支援システムの紹介	岡田 吉諒 岡村 一徳 片村 修一	経営革新プロジェクト室 第2ITソリューション推進部 経営革新プロジェクト室
自動車技術 Vol.56, No.11, P.33-37	車線逸脱防止装置	小嶋 浩一 山本 康典 藤瀬 一基 藤田 健二	技術研究所 同 上 同 上 同 上
自動車技術会論文集 Vol.33, No.4, P.157-162	複素コーナリングコンプライアンスの提案	辻 幸二 十時 信弘 西岡 正夫	シャシー開発部 同 上 (株)マツダE&T
JSAE Review Vol.23, No.1 (2002) P.95-100	CFD analysis of the flow in an automotive headlamp	岡田 義浩 農沢 隆秀 中村 貴樹	車両実研部 同 上 同 上
自動車技術会 関西支部ニュース 第20号, P.4-6	21世紀を走る燃料電池自動車	水島 善夫	技術研究所
自動車技術会 関西支部ニュース 第21号, P.5-6	非接触 光学三次元測定機	山本 俊介	試作部
日本機械学会論文集 (C編) 68巻671号	自動車開発のための階層型機能モデル (第1報 パワートレインの機能展開)	平松 繁喜 角田 鎮男 長松 昭男	第3エンジン開発部 CATEC(株) 法政大学
	自動車開発のための階層型機能モデル (第2報 エンジンの機能モデルと機構モデル)	平松 繁喜 角田 鎮男 長松 昭男	第3エンジン開発部 CATEC(株) 法政大学
	自動車開発のための階層型機能モデル (第3報 駆動伝達系の機能モデル)	平松 繁喜 角田 鎮男 長松 昭男	第3エンジン開発部 CATEC(株) 法政大学

寄稿誌名	題 目	発表者	所 属
軽金属 第52巻 第10号 (2002), P.437-441	Mg-Al-Ca系合金半溶融射出成形材の機械的性質と組織	坂本 和夫 山本 研一	技術研究所 同 上
品質工学 Vol.10, 臨時増刊号, P.22-27	品質工学で生産革新 (オフラインからオンラインへの展開)	安達 範久	PT技術部
P.135-140	大規模量産ラインに対するオンライン品質工学の適用の研究	井田 吉人	PT技術部
P.152-155	CAEを用いた鋳造用鋳型設計条件の最適化	垣田 健 堀 雄二 菅谷 智 永田 亮平 梶川 寿 安達 範久	PT技術部 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
P.162-163	ヘリ継手におけるレーザ溶接技術の確立	深堀 貢	技術研究所
品質工学 Vol.10, No.6, P.97-104	機械加工ラインにおけるオンライン品質工学の展開とサイクルタイム短縮	井田 吉人 安達 範久	PT技術部 同 上
SX WORLD ONLINE MAGAZINE 28, Autumn 2002	マツダにおける空力騒音シミュレーション開発の取り組み	農沢 隆秀 上岡 孝志	車両実研部 第2ITソリューション 推進部
日本化学会誌 2002, No.3, P.435-440	酸素貯蔵材担持 Pt-Rh触媒のNO還元触媒性能と貴金属担持状態	山田 啓司 三好 誠治 岡本 謙治 住田 弘祐 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
ヒューマンインタフェース学会誌 Vol.4, No.4, 2002, P. 21-22	研究所紹介 マツダ株式会社 技術研究所	岡本 宣久	技術研究所
特殊鋼 51巻5号, P.25-27	(3) ロータリーエンジン	坂手 宣夫	技術研究所
JAMAGAZINE Vol.36, 3月号, P.32-34	新世代モジュール基材用の高強度プラスチック技術を開発～材料技術と開発技術のコンビネーションが生んだマツダの新素材～	栃岡 孝宏	技術研究所
自動車研究 Vol. 24, No.9, P.21-24	交差点右折時における運転者の視線移動パターン - 横断中の歩行者などの発見遅れに関する予備的検討 -	内田 信行 木下 昌裕 松尾 典義 斎藤 誠一 末富 隆雅	日本自動車研究所 富士重工業(株) スズキ(株) いすゞ自動車(株) 技術研究所

寄稿誌名	題 目	発表者	所 属
NEDO, 人間生活工学研究センター 平成13年度人間行動適合型生活環境 創出システム技術成果報告書	運転時疲労度に基づく運転行動適合化技術の研究開発	古郡 了 吉澤 公理 稲目 力 三浦 泰彦	技術研究所 同 上 同 上 同 上
NEDO, WE-NET TASK-5 平成13年 度成果報告書, P.38-72	2. 水素吸蔵合金タンクの安全性評価	對尾 良則 山本 幸男 森本 賢治	技術研究所 同 上 同 上
NEDO, WE-NET TASK-11 平成13年 度成果報告書, P.145-163	2.5 軽量水素吸蔵合金 (Al系, Mg-V系) の探索	對尾 良則	技術研究所
人間生活工学研究センター 人間生活 工学 Vol.3, No.3, P.11-14	「自動車運転行動場面」成果概要	土居 俊一 古郡 了 吉澤 公理 稲目 力 三浦 泰彦	(株)豊田中央研究所 技術研究所 同 上 同 上 同 上
機械と工具 Vol.46, 2月号	マツダのMDI活動~機械加工領域での取り組み	鳥居 元	PT技術部
機械と工具 Vol.46, 10月号	シリンダーブロックボアの高品位加工	藤村 健司 山下 貢丸 鳥居 元	トーヨーエイテック(株) 同 上 PT技術部
日刊工業出版 オートメーション Vol.47, No.11, P.26-29	大規模量産ラインに対するオンライン品質工学の適用	井田 吉人 安達 範久	PT技術部 同 上
日本規格協会 逆説の技術戦略, P.154-164	材料加工量産ラインにおけるオンライン品質工学の実 践	井田 吉人 安達 範久	PT技術部 同 上
アルトピア Vol.33, No.1, P.16-21	コスワース鋳造プロセスの開発	大塚 真	PT技術部
軽金属溶接 Vol.40 (2002), No.8, P.6-11	レーザー溶接のアルミニウム車体への適用	加藤喜久生 坂野 律男 猪 一郎	車体技術部 同 上 同 上
日刊工業新聞社 型技術 10月号, P.53-58	マツダにおけるCAD/CAM/CAEの活用	中土 信之 阿賀 弘晃 田村 洋生 大田 敦史	車体技術部 同 上 同 上 同 上

編集後記

マツダは環境理念として、「クルマづくりにおいて自然との調和を図りながら、地球環境の保護と豊かな社会作りに挑戦し続ける」ことをあげています。そして同時に、“Zoom-Zoom”のブランドメッセージにのせて「子供のときに誰もが感じた動くことへの感動」をお客様へ提供できる商品を開発してきました。

これらのメッセージをこのマツダブランドDNAを体現した商品が、アテンザ、デミオ、をはじめとする新型車です。そして今年は新しく進化したロータリエンジンをのせた新型車RX-8がデビューしました。他のクルマとは一線を画す独特のロータリ・フィーリングは、お客様へ走ることの新しい価値を提供できるものと期待しています。環境性能も、最新規制以上の排出ガスレベルの達成、スポーツカーで初めてLEV-II Evapo規制に適合する等、世界最高水準のものにすることができました。

走ることは人間の根源的な喜びであり、人類の進歩、豊かな社会を作ってきた歴史そのものです。みんなが子供であったころのクルマへの憧れ、夢を提供できる企業でありたい。同時に、緑の地球を守る企業でありたい。このメッセージを技術を通じての形でお客様へお伝えし提供すること、これが私たちの願いです。

今回のマツダ技報21号では、RX-8、デミオに搭載した最新の技術の特集を取り上げ、より深くマツダのメッセージを伝えたいという主旨で編集を進めさせていただきました。原稿作成時期と開発繁忙期が重なり、多くの方に無理な願いをしましたが、技術を伝えることの重要性をご理解いただき快く引き受けていただけました。この場を借りてご尽力いただいた関係者の方々に謝意を表します。また、本誌は今号よりサイズがB5からA4へ大きく見やすくなり、表紙のデザインも一新されました。外見も内容も充実しました本誌を、多くのお客様に読んでいただけることを祈念してやみません。

(原田靖裕)

編集委員会

委員長	喜田 達也	技術企画部
委員	森山 尚宗	コンセプト・プラットフォーム基本設計部
	安藤 正登	NVH性能開発部
	原田 司	電子開発部
	倉田 直樹	シャシー開発部
	三村 光生	第1エンジン開発部
	原田 靖裕	第3エンジン開発部
	山田 洋史	技術研究所
	部谷 雅幸	生産企画部
	濱田 拓男	生産企画部
幹事	富山 道雄	技術企画部
	大森 正志	技術企画部
事務局	世良 和美	技術研究所
	伊東加奈子	技術企画部

マツダ技報 第21号

発行 平成15年4月21日
発行人 井巻 久一
編集人 喜田 達也
発行所 マツダ株式会社
商品企画ビジネス戦略本部技術企画部
〒730-8670
広島県安芸郡府中町新地3番1号
電話 082(287)4106
印刷所 マツダエース株式会社
広島県安芸郡府中町新地3番1号

Mazda Technical Review No.21

April 2003
Publisher Hisakazu Imaki
Editor Tatsuya Kita
Distributor Technology Planning Dept.
Product Planning & Business
Strategy Div.
Mazda Motor Corp.
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Aki-gun,
Hiroshima 730-8670, Japan

©禁無断転載